

การประเมินสัมประสิทธิ์อัตราการใช้และพลังงานของน้ำ
ที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

การประเมินสัมประสิทธิ์อัตราการใช้และพลังงานของน้ำ
ที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การประเมินสัมประสิทธิ์อัตราการใช้พลังงานของน้ำ
ที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา

นัสรุ ต่อง๊ะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.รจพรรณ นีรัฐศิลป์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การประเมินสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงานของน้ำ ที่ไหลผ่านฝาย น้ำล้นแบบสันหนา
ชื่อผู้เขียน	นายนิสรุ ตี๋อิงะ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะการไหล สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ พลังงานของน้ำที่ไหลผ่านฝายและพัฒนาสมการอธิบายอัตราการไหลของฝายน้ำล้นสันหนาแบบผิวเรียบ โดยทำการศึกษาคุณลักษณะอัตราการไหลผ่าน 3 ปัจจัย ได้แก่ ความสูงของน้ำเหนือฝาย ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย และมุมองศาการบีบอัดของน้ำ คุณลักษณะของฝาย 4 ค่า ได้แก่ ความสูงของสันฝาย ความกว้างของสันฝาย มุมพื้นที่หน้าตัดของสันฝาย และความหนาของสันฝาย ทำการทดลองในอุโมงค์น้ำแบบเปิด ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 ค่า ผลการศึกษาพบว่า เมื่อความกว้างของฝายเพิ่มขึ้น และมุมของฝายลดลง ความสูงของน้ำเหนือฝายมีค่าลดลง ซึ่งความหนาและความสูงสันฝาย ไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสูงของน้ำเหนือฝาย ระยะจุดตกของน้ำหลังฝายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความสูงของสันฝายและมุมของฝายเพิ่มขึ้น แต่กลับมีค่าลดลง เมื่อความกว้างของฝายและความหนาเพิ่มขึ้น องศาการบีบอัดของน้ำลดลง เมื่อมุมของฝายเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสูงของฝาย ความกว้างของฝายและความหนาของฝาย ไม่ส่งผลต่อการบีบอัดของน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำแปรผันตรงกับค่าอัตราส่วนความสูงของน้ำเหนือฝายกับความสูงของสันฝาย ซึ่งความกว้างของสันฝายอัตราการไหลของน้ำ แปรผกผันกับมุมของฝายและความหนาของฝาย พลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย มีค่าแปรผันตรงกับสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะการไหลกับสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำสามารถใช้งานได้โดยมีค่าแสดงความน่าเชื่อถือ R^2 เท่ากับ 0.8454 และค่า RMSE เท่ากับ 1.015.

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์อัตราการไหล อัตราการไหล ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฝายรูปสามเหลี่ยม ความหนาของสันฝาย

Title	THE EVALUATION OF DISCHARGE COEFFICIENT AND ENERGY OF WATER THROUGH THICK RIDGE WEIR
Author	Mr. Nasru Tuenga
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Dr. Rotjapun Nirunsin

ABSTRACT

The objective of this research was to study discharge characteristics, discharge coefficient and energy of water that flew through weir as well as developed discharge equation of thickness and smooth overflow weir. The discharge characteristics were studied via three factors, height of water over weir, water drop point after weir and degree of compression of water. Four characteristics of weir were height, width, cross-sectional area and thickness of weir. Experiment was conducted on the open flow water tunnel at discharge of 5 values. Results of study found when width of weir increased and angle of weir decreased, height of water over weir would decrease. Thickness and height of weir had no effect on height of water above weir. The water drop point after weir increased when height of weir and angle of weir were increased but it would decrease when width of weir and thickness increased. Degree of compression water decreased. When angle of weir increased. Height, width and thickness of weir did not effect the degree of compression of water. Discharge Coefficient of water value was a direct variation with h/P ratio with width of weir. Flow rate of the water had inverse variation on angle and thickness of weir. Energy of water that moved through weir had a direct variation with discharge coefficient of water. Relationship between features flow with discharge coefficient of water could be used with a reliability (R^2) of 0.8454 and RMSE of 1.015.

Keyword : Discharge Coefficient Discharge Rectangular weir Trapezoid weir Triangular weir Thickness of Weir Ridge.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุน และได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากบุคคลหลายๆ ท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. รจพรธม นิรัญศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก พร้อมกับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ ไชยชนะ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูรัตน์ ธารารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษา คำชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหาและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งยังช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิรินุช จินดารักษ์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบ พร้อมให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนตรวจเล่มวิทยานิพนธ์ ทำให้เกิดความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการศึกษา โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559

ขอขอบพระคุณโครงการอุโมงค์น้ำแบบเปิดสำหรับการทดสอบทางด้านชลศาสตร์และพลังงาน และสัมปสิทธิ์อัตรากาไรไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นที่สนับสนุนอุโมงค์น้ำสำหรับการทดลอง

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคน ที่มีส่วนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

นัสรุ ตีอง๊ะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง.....	ท
สารบัญภาคผนวก.....	ฒ
อักษรย่อและสัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	8
ขอบเขตการศึกษา	8
ประโยชน์ที่ได้รับ.....	8
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 การไหลในทางน้ำเปิด.....	9
2.1.1 ประเภทของทางน้ำเปิด	9
2.1.2 รูปแบบของการไหลในทางน้ำเปิด.....	10
2.1.3 คุณสมบัติการไหลในทางน้ำเปิด.....	11
2.1.4 ฝ่ายน้ำล้น.....	13
2.2 การวัดอัตราการไหลของน้ำ.....	15
2.3 สมการการหาอัตราไหลของน้ำของฝ่ายสันคม	17
2.4 สมการพลังงานของน้ำ	24

2.5 สมการการหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์	25
2.6 รายการสัญลักษณ์ย่อ	26
2.7 การตรวจสอบเอกสาร	26
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	39
3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิทยานิพนธ์เบื้องต้น.....	39
3.2 วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงาน	39
3.2.1 อุโมงค์น้ำและส่วนประกอบต่างๆ.....	39
3.2.3 เครื่องมือใช้ในการทดสอบ	40
3.2.4 ชุดการทดสอบฝายนํ้าล้น.....	40
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ.....	43
3.3.1 ข้อมูลที่เก็บจากการทดสอบ.....	43
3.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	46
3.3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	47
3.3.4 การการพัฒนาสมการอธิบายอัตราการไหลของฝายนํ้าล้นแบบสันหนา	53
3.4 ระยะเวลาในการวิจัยและสถานที่ดำเนินงาน	54
3.4.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน 1 ปี.....	54
3.4.2 สถานที่ดำเนินงาน	54
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการทดลอง.....	55
4.1 อิทธิพลของความสูงของสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงาน	55
4.1.1 คุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย.....	55
4.1.2 สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านฝาย.....	56
4.1.3 ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย	58
4.2 อิทธิพลของความกว้างของสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงาน	59
4.2.1 คุณลักษณะการไหลของน้ำที่ผ่านฝาย	59

4.2.2	สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	61
4.2.3	ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย	61
4.3	อิทธิพลของมุมของฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงาน	62
4.3.1	คุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย.....	62
4.3.2	สัมประสิทธิ์อัตราการไหล	65
4.3.3	ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย	66
4.4	อิทธิพลของความหนาแน่นฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงาน.....	66
4.4.1	คุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสันหนา.....	66
4.4.2	สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสันหนา	67
4.4.3	ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสันหนา	68
4.5	การพัฒนาสมการอธิบายสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย.....	69
4.6	การหาค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์.....	70
4.7	การนำไปใช้อธิบายสมการสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา	71
4.7.1	การหาค่าอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา.....	71
4.7.2	การหาค่ากำลังของน้ำ.....	72
บทที่ 5	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	73
	สรุปผลงานวิจัย.....	73
	ข้อเสนอแนะ	74
	บรรณานุกรม.....	75
	ภาคผนวก ก ตัวอย่างและวิธีการคำนวณ.....	79
	ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์และการพัฒนาสมการ.....	88
	ภาคผนวก ค ตารางแสดงข้อมูลในการทดสอบ	94
	ภาคผนวก ง บทความวิจัยที่ได้เผยแพร่ในระดับชาติและนานาชาติ	100
	ภาคผนวก จ ภาพกิจกรรมการดำเนินงานและการทดลอง.....	117



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 สถิติและข้อมูลพลังงาน	1
ภาพที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์.....	2
ภาพที่ 3 การบูรณาการแผนพลังงานของประเทศไทย	3
ภาพที่ 4 เป้าการใช้พลังงานทดแทนต่อการใช้พลังงานรวมขั้นสุดท้าย.....	4
ภาพที่ 5 เป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในภาคไฟฟ้า ปี 2579.....	4
ภาพที่ 6 แหล่งเชื้อเพลิงและผลผลิต	5
ภาพที่ 7 โครงสร้างทางชลประทานมีลักษณะเป็นฝายน้ำล้น	6
ภาพที่ 8 ฝายต้นน้ำแบบถาวรพัฒนาให้เป็นเครื่องมือวัดปริมาณของน้ำ	7
ภาพที่ 9 หน้าตัดทั่วไปของทางน้ำธรรมชาติและการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไป.....	9
ภาพที่ 10 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ.....	10
ภาพที่ 11 ลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน.....	11
ภาพที่ 12 ลักษณะการไหลแบบช่วงต่อ.....	11
ภาพที่ 13 ลักษณะทางเรขาคณิตของทางน้ำไหล	12
ภาพที่ 14 แสดงรูปตัดลักษณะการไหลของฝายสันคม ฝายสันกว้าง และฝายคมสัน	14
ภาพที่ 15 ฝายวัดอัตราการไหลของน้ำ	16
ภาพที่ 16 ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีบีบข้าง	17
ภาพที่ 17 ลักษณะของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....	18
ภาพที่ 18 หลักการคำนวณของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	19
ภาพที่ 19 รูปแบบฝายสันคมแบบสามเหลี่ยม	20
ภาพที่ 20 กราฟค่าปรับความลึกที่มีความสัมพันธ์กับมุม θ ของฝาย	21
ภาพที่ 21 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำผ่านฝายสันคมสามเหลี่ยมทั่วไป.....	21
ภาพที่ 22 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลขึ้นกับค่าของ H/P กับ P/B สำหรับฝายสันคมสามเหลี่ยม ที่มีมุม 90 องศา.....	22

ภาพที่ 23	กราฟหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของกระแสน้ำ	23
ภาพที่ 24	ฝายวัดน้ำมีสันด้านข้างที่ขวางทางน้ำ	23
ภาพที่ 25	อุโมงค์น้ำแบบเปิด.....	39
ภาพที่ 26	แผ่นอะคริลิก ขนาด 5 mm	40
ภาพที่ 27	นาฬิกาจับเวลา.....	40
ภาพที่ 28	ชุดการทดสอบฝายน้ำล้น	41
ภาพที่ 29	แสดงชุดการทดสอบของฝายน้ำล้น	41
ภาพที่ 30	แสดงสเกลวัดระดับน้ำในถัง	42
ภาพที่ 31	แสดงสเกลวัดความกว้างของฝาย	42
ภาพที่ 32	แสดงสเกลวัดความสูงของน้ำเหนือฝาย	42
ภาพที่ 33	แสดงสเกลวัดระยะจุดตกของน้ำ	43
ภาพที่ 34	แสดงสเกลวัดความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก	43
ภาพที่ 35	แสดงการทำงานของอุโมงค์น้ำไหลแบบเปิด	44
ภาพที่ 36	การวัดความสูงของน้ำเหนือฝาย มุมมองด้านหน้าของฝาย	44
ภาพที่ 37	การวัดระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย มุมมองด้านข้างของฝาย	45
ภาพที่ 38	การวัดองศาการบิดการตกของน้ำ มุมมองจากด้านบน	45
ภาพที่ 39	ความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก	46
ภาพที่ 40	ความกว้างของน้ำล้นที่ระดับน้ำเหนือฝาย	46
ภาพที่ 41	แสดงลักษณะความสูงของสันฝายรวมที่ P ต่างกัน	48
ภาพที่ 42	แสดงลักษณะความสูงของสันฝายน้ำล้นที่ P ที่ 0.30 0.20 และ 0.10 m.....	49
ภาพที่ 43	ฝายรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ความกว้างของสันฝาย b ที่ต่างกัน.....	50
ภาพที่ 44	ฝายรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ความกว้างของสันฝาย b ที่ 0.17 0.19 และ 0.21 m	50
ภาพที่ 45	แสดงลักษณะฝายน้ำล้นทั้งสามรูปแบบ.....	51
ภาพที่ 46	แสดงลักษณะรูปแบบของฝายรูปสี่เหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมคางหมู รูปสามเหลี่ยม.....	52

ภาพที่ 47	ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความหนา.....	53
ภาพที่ 48	ฝายรูปแบบสันหนา D เท่ากับ 3 15 และ 25 mm	53
ภาพที่ 49	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอัตราส่วน h/P ที่ P_1-P_3	56
ภาพที่ 50	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับอัตราการไหลที่ P_1-P_3	57
ภาพที่ 51	กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับอัตราส่วน h/P ที่ Q_1-Q_3	58
ภาพที่ 52	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของน้ำกับอัตราการไหลที่ P_1-P_3	59
ภาพที่ 53	กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลกับอัตราส่วน h/P ที่ b_1-b_3	60
ภาพที่ 54	กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับค่าอัตราส่วน h/P ที่ Q_1-Q_5	61
ภาพที่ 55	กราฟความสัมพันธ์ค่าพลังงานของน้ำกับอัตราการไหลที่ b_1-b_3	62
ภาพที่ 56	กราฟความสัมพันธ์มุมของฝายกับระยะจุดตกของน้ำหลังฝายที่ A_1-A_8	64
ภาพที่ 57	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอัตราส่วน h/P ที่ A_1-A_8	65
ภาพที่ 58	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับมุมของฝาย.....	65
ภาพที่ 59	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของน้ำกับอัตราการไหลที่ A_1-A_8	66
ภาพที่ 60	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับความหนาสันฝาย	68
ภาพที่ 61	กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจากแบบจำลองและจากการทดลอง	70

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของฝ้ายที่มีหน้าตัดแบบต่างๆ	13
ตารางที่ 2 รายการสัญลักษณ์ย่อต่างๆ	26
ตารางที่ 3 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของฝ้ายน้ำลันที่ความสูงสันฝ้ายต่างกัน	48
ตารางที่ 4 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของฝ้ายน้ำลันที่ความกว้างสันฝ้ายต่างกัน	49
ตารางที่ 5 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของฝ้ายน้ำลันที่มุมของฝ้ายต่างกัน.....	51
ตารางที่ 6 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของฝ้ายน้ำลันแบบสันหนา.....	52
ตารางที่ 7 แผนการดำเนินงานระยะเวลาในงานวิทยานิพนธ์	54
ตารางที่ 8 การทดสอบฝ้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ความสูงสันฝ้าย	55
ตารางที่ 9 การทดสอบฝ้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่กว้างของสันฝ้าย	60
ตารางที่ 10 การทดสอบฝ้ายที่มุมพื้นที่หน้าตัดของฝ้าย	62
ตารางที่ 11 การทดสอบฝ้ายที่ความหนาของสันฝ้าย	67
ตารางที่ 12 การทดสอบค่าพลังงานของน้ำผ่านฝ้ายน้ำลันแบบสันหนา.....	68

สารบัญภาคผนวก

	หน้า
ภาคผนวก ก ตัวอย่างและวิธีการคำนวณ.....	79
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์และการพัฒนาสมการ.....	88
ภาคผนวก ค ตารางแสดงข้อมูลในการทดสอบ	94
ภาคผนวก ง บทความวิจัยที่ได้เผยแพร่ในระดับชาติและนานาชาติ	100
ภาคผนวก จ ภาพกิจกรรมการดำเนินงานและการทดลอง.....	117



อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดการไหล (Flow area)	m^2
B	ความกว้างของหน้าตัดการไหล	m
D	ความสูงชลศาสตร์ (Hydraulic depth)	m
F	ความสูงเหนือสันฝาย	m
H	ความสูงรวมของฝาย	m
P	เส้นรอบรูปเปียก (Wetted perimeter)	m
Q	อัตราการไหล	m^3/s
R	รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic radius)	m
W	ความกว้างรวมของฝาย	m
Z	แฟกเตอร์หน้าตัดการไหลวิกฤต (Section factor for critical flow)	-
b	ความกว้างของสันฝาย	m
g	แรงโน้มถ่วง	m/s^2
h	ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย (Depth)	m
x	ระยะจุดตกของน้ำ	m
n	จำนวนด้านที่มีการบีบตัว	-
P	ความสูงของสันฝาย	m
C_d	สัมประสิทธิ์อัตราการไหลขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการไหลข้ามฝาย	-
L'	ความยาวประสิทธิภาพของสันฝาย	m
V_0	อัตราเร็วของน้ำ	m/s
W_L	ความกว้างของฝายที่ต่ำ	m
W_H	ความกว้างของฝายที่สูง	m
b_L	ความกว้างของสันฝายที่ต่ำ	m
b_H	ความกว้างของสันฝายที่สูง	m
H_h	ความสูงรวมของของน้ำในฝาย	m
N_x	ความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก	m
N_h	ความกว้างของน้ำล้นที่ความสูงของน้ำเหนือฝาย	m
D_n	ความหนาของฝาย	mm

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานทดแทนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย อาทิ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนทิ้ง พลังงานชีวมวล และพลังงานชีวภาพ (พพ, 2560) ซึ่งพลังงานทดแทนถูกคิดค้นขึ้นมา และถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานใหม่ เพื่อทดแทนจากแหล่งพลังงานเดิมที่กำลังลดลง ในการใช้พลังงานต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเพื่อตอบสนองการใช้พลังงาน พลังงานทดแทนจึงมีความสำคัญทั้งในปัจจุบันและอนาคต ประเทศต่าง ๆ รวมถึงประเทศไทยได้มีการส่งเสริมและได้มีการพัฒนาในด้านของพลังงานมาอย่างต่อเนื่อง

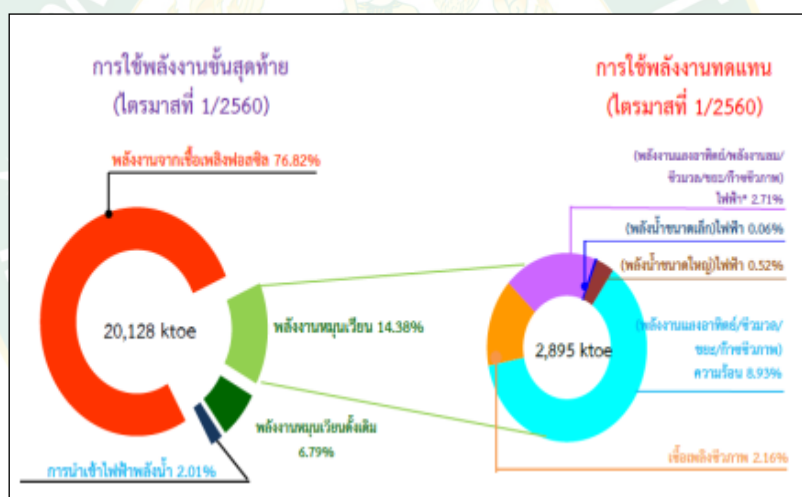


ภาพที่ 1 สถิติและข้อมูลพลังงาน (Energy Statistics & Information) (พพ, 2560)

ประเทศไทยเป็นประเทศทางด้านการเกษตร ปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นประเทศที่มีพื้นที่แหล่งทรัพยากรธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ โดยในภาคใต้ของประเทศซึ่งเป็นพื้นที่ทั้งสองฝั่งจะติดกับชายฝั่งทะเลอันดามันและฝั่งทะเลอ่าวไทย ทำให้เกิดแหล่งทรัพยากรน้ำในพื้นที่มีจำนวนมาก ซึ่งสามารถจะอยู่ในรูปแบบอ่างเก็บน้ำ คลองแม่น้ำ ไม่ว่าจะเป็แหล่งน้ำเกิดจากธรรมชาติและมีมนุษย์สร้างขึ้น ทำให้เกิดการไหลของน้ำจากแหล่งน้ำพื้นที่สูง ลงสู่แหล่งน้ำพื้นที่ต่ำ ทำให้เกิดพลังงานจลน์จากการไหลของน้ำ จะส่งผลดีหรือผลเสียจะขึ้นอยู่กับการบริหารการจัดการน้ำ ซึ่งจากข้อมูลสถิติและข้อมูลการใช้พลังงาน (Energy Statistics & Information) ของประเทศไทย ไตรมาสที่ 1/2560 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานในช่วงไตรมาสแรกของปี 2560 มีปริมาณ 20,128 พันตันเทียบเท่า น้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 0.6 คิดเป็นมูลค่ากว่า 276,170 ล้านบาท การใช้พลังงานยังคงเพิ่มขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจ โดยที่น้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็น

พลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 51.1 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมดรองลงมาประกอบด้วย ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน/ลิกไนต์ คิดเป็น ร้อยละ 19.7 8.9 6.8 7.3 และ 6.2 ตามลำดับ (พพ, 2560) แสดงกราฟสถิติและข้อมูลพลังงาน แสดงดังภาพที่ 1

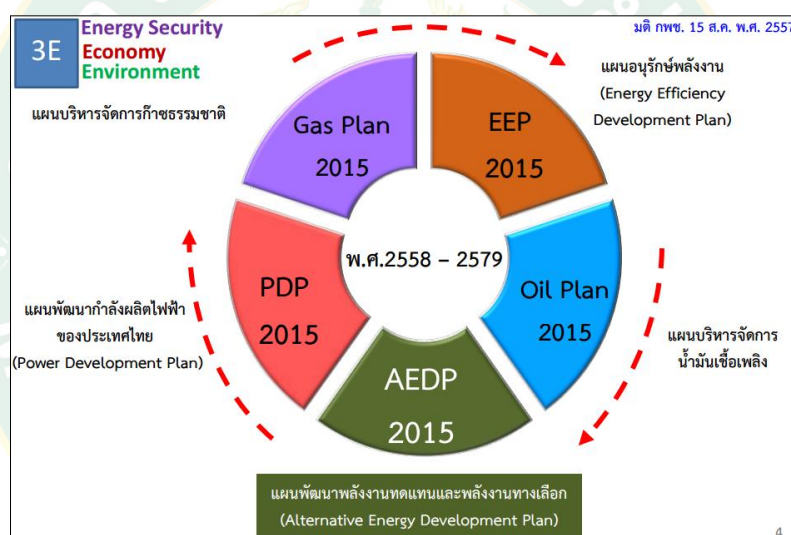
จากข้อมูลสถิติและการใช้พลังงาน ดังกล่าว ทำให้ภาครัฐบาลได้ส่งเสริมนโยบายการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยลดสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวม (Energy Intensity) พบว่าในช่วงไตรมาส 1/2560 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 2,895 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.4 จากช่วงเดียวกันของปีก่อน ส่วนสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเปรียบเทียบกับปี 2553 ซึ่งเป็นปีฐานที่เริ่มดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554– 2573) และแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 – 2579 แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์ (พพ, 2560)

จากนโยบายของส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย ได้ดำเนินการแผนในการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีมติจากคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) พ.ศ. 2552 โดยมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 - 2565) และมีความต้องการเพิ่มของการใช้พลังงานทดแทนจากเดิมที่มีอยู่แล้ว ให้เพิ่มขึ้นประมาณ 20.3% ในปีถัดไปได้มีมติจากคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) พ.ศ.2554 โดยมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 - 2564) มีความ

ต้องการการเพิ่มของพลังงานทดแทนจากเดิมที่มีอยู่แล้วเพิ่มประมาณ 25% และได้มีการบูรณาการแผนพลังงาน โดยคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ได้มีการจัดมติใหม่ของแผนในการพัฒนาพลังงานโดยกำหนดในวันที่ 15 ส.ค. พ.ศ. 2557 ได้มีการส่งเสริมการพัฒนาด้านพลังงานในสามทิศทาง ด้านความมั่นคงด้านพลังงาน เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม (Energy Security, Economy ,Environment) หรือเรียกว่า 3E และในการบูรณาการแผนการพัฒนาของประเทศไทย 15 ปี เริ่มตั้งแต่ พ.ศ 2558 –2579 และสามารถแบ่งแผนการพัฒนาได้ออกเป็น 5 แผน ก็จะมีด้วยกัน แผนบริหารจัดการก๊าซธรรมชาติ (Gas Plan 2015) แผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency Development Plan) EEP 2015 แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง (Oil Plan 2015) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan AEDP 2015) แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan) PDP 2015 (พพ, 2559) แสดงภาพที่ 3



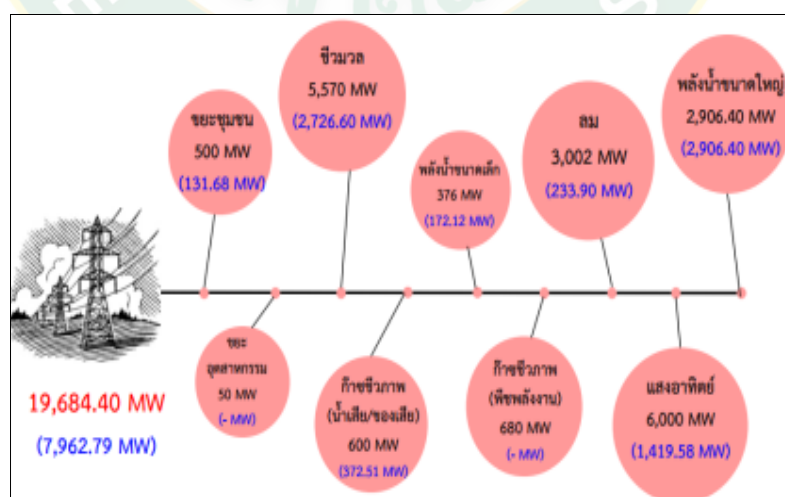
ภาพที่ 3 การบูรณาการแผนพลังงานของประเทศไทย (พพ, 2559)

จากแผนดังกล่าว ได้มีความสนใจในการพัฒนาของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan AEDP 2015) โดยมีเป้าหมายแผนในการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนของผลและเป้าหมายผลรวมเป้าหมายด้านการใช้พลังงานทดแทน 39,388.67 ktoe และด้านการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย 131,000 ktoe ทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน (ร้อยละ) อยู่ที่ 30 ร้อยละ เป็นความต้องการการเพิ่มของพลังงานทดแทนจากเดิมที่มีอยู่แล้วเพิ่มเท่ากับ 30 ร้อยละ โดยแบ่งออกเป็นสามภาคส่วน ภาคไฟฟ้า เป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนเท่ากับ 4.27 ร้อยละ ภาคความร้อนเท่ากับ 19.15 ร้อยละ และภาคขนส่งเท่ากับ 6.65 ร้อยละ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เป้าการใช้พลังงานทดแทนต่อการใช้พลังงานรวมขั้นสุดท้าย (พพ, 2559)

เป้าหมายของการใช้พลังงานทดแทนในภาคไฟฟ้า ปี 2579 ได้กำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในภาคไฟฟ้าปี 2579 จากการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศปัจจุบันอยู่ที่ 7,962.79 MW ซึ่งได้ตั้งเป้าหมายการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตลอดจนถึง ปี 2579 ให้ได้ตั้งเป้าหมายที่ 19,684.40 MW โดยผลิตจากแหล่งทรัพยากรเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต จากภาพที่ 6 ตัวเลขในวงเล็บ คือ ผลการดำเนินงานสิ้นปี พ.ศ. 2558 ซึ่งเห็นได้ว่าผลของการดำเนินงานของพลังงานน้ำขาดว่าสามารถเพิ่มการพัฒนาเพื่อให้ได้ผลผลิตมากยิ่งขึ้นในอนาคตต่อไป แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เป้าการใช้พลังงานทดแทนในภาคไฟฟ้า ปี 2579 (ก. พพ, 2560)

แหล่งทรัพยากรผลิตเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศที่พื้นที่แหล่งทรัพยากรมีอยู่อย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์ ลม น้ำ คลื่นทะเล ความร้อนใต้พิภพ แหล่งพลังงานจากชีวมวล พืชเศรษฐกิจ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน พืชพลังงาน เศษวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตร ในพื้นที่เพาะปลูกจากกระบวนการผลิตหรือแปรรูป และแหล่งพลังงานจากของเสียหรือน้ำเสีย จากโรงงานอุตสาหกรรมหรือฟาร์มปศุสัตว์ ขยะชุมชนหรือขยะอุตสาหกรรมจากแหล่งทรัพยากรเหล่านี้ ซึ่งสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงเข้าสู่กระบวนการผลิต ซึ่งผลผลิตที่ได้จะแบ่งออกแบ่ง 3 ภาคส่วน ความร้อน เชื้อเพลิงภาคขนส่ง และไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 4 แหล่งทรัพยากรของพลังงานทดแทนภาคส่วนของไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะนำแหล่งพลังงานของน้ำมาเข้าสู่กระบวนการผลิต ซึ่งเป็นทรัพยากรจากธรรมชาติที่เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีค่าเชื้อเพลิงในแต่ละครั้งของการผลิต และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 6 แหล่งเชื้อเพลิงและผลผลิต (ก. พพ, 2560)

การนำทรัพยากรน้ำมาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในปัจจุบัน สามารถแบ่ง 2 ภาคส่วนใหญ่ ภาคส่วนแรก การอนุรักษ์พลังงานน้ำ Water Power Conservation โดยนำพลังงานน้ำมาแลกเปลี่ยนของรูปแบบพลังงาน เช่น การผลิตโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่และขนาดเล็ก ภาคส่วนที่สองคือการจัดการพลังงานน้ำ Water Power Management โดยเป็นการจัดการน้ำให้เป็นระเบียบลดผลเสียต่อการเกิดอุทกภัยทางธรรมชาติของพลังงานน้ำ ซึ่งจะมึนนวัตกรรมทางวิศวกรรมได้สร้างเพื่อเป็นเครื่องมือการวัดพลังงานน้ำและรับมือกับสิ่งเหล่านั้น คือ คลองชลประทาน อ่างเก็บน้ำ และฝาย

ฝายเป็นโครงสร้างทางชลประทานมีลักษณะเป็นเขื่อนน้ำล้นใช้สำหรับการเปลี่ยนขนาดและรูปแบบการไหลของแม่น้ำ ประโยชน์ของฝายมักจะถูกใช้ในการป้องกันน้ำท่วม เก็บน้ำบริเวณต้นน้ำ และบริหารทรัพยากรน้ำ เมื่อน้ำบริเวณต้นน้ำมีปริมาณความสูงน้อยกว่าความสูงของฝายน้ำจะถูกกัก

เก็บไว้ แต่เมื่อระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นน้ำจะไหลข้ามไปยังท้ายน้ำหรือน้ำล้นออกจากฝายกั้นน้ำ เรียกว่าฝายน้ำล้น แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 โครงสร้างทางชลประทานมีลักษณะเป็นฝายน้ำล้น (อส, 2556)

ในปัจจุบันมีปัญหาผลกระทบที่เกิดจากน้ำที่สำคัญ 3 ประการ ปัญหาการขาดแคลนน้ำ ปัญหาการเกิดน้ำเสียและคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสม และปัญหาการเกิดน้ำท่วมและสร้างความเสียหายในทุกระบบ เช่น การผลิตทางการเกษตร การคมนาคม การอุตสาหกรรม สุขภาพอนามัย เป็นต้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อระบบเศรษฐกิจโดยรวมมาก ได้มีการจัดการบริหารทรัพยากรน้ำนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเพื่อนำพลังงานไปผลิตกระแสไฟฟ้า การทำอ่างเก็บน้ำเพื่อระบอการทางการเกษตรกร และมีการจัดการระเบียบของพลังงานน้ำโดยการสร้างฝาย โดยปัญหาเรื่องน้ำดังกล่าวเกิดขึ้นซ้ำซากเกือบทุกปี แนวทางการแก้ปัญหาจะต้องพิจารณาทั้ง 3 ปัญหา ไปพร้อมๆกัน แนวทางที่ทำได้โดยตรงคือ การบริหารจัดการน้ำที่ถูกต้องเหมาะสม (ปราโมท, 2554)

การแบ่งประเภทของฝายมีการแบ่งหลากหลายรูปแบบ ฝายต้นน้ำลำธารชนิดต่าง ๆ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แบ่งตามวัสดุการก่อสร้าง ฝายต้นน้ำลำธารแบบผสมผสานมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการดักตะกอนเศษวัสดุต่าง ๆ ที่ไหลมากับน้ำและช่วยลดความเร็วหรือชะลอการไหลของน้ำ ซึ่งในการก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธารแบบผสมผสาน มีรูปแบบต่างๆ พอสรุปได้ 6 ชนิด ฝายผสมผสานแบบคอกหมู ฝายผสมผสานแบบไม้ไผ่ ฝายผสมผสานแบบกระสอบ ฝายผสมผสานแบบลวดตาข่าย ฝายผสมผสานแบบหินทิ้ง ฝายผสมผสานแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน ส่วนที่สองแบ่งตามอายุการใช้งาน ก็จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนของอายุการใช้งาน ก็จะมีฝายต้นน้ำลำธารแบบกึ่งถาวร เป็นฝายต้นน้ำลำธารแบบ

กึ่งถาวรเป็นฝายชนิดหินก่อคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นฝายที่มีความมั่นคงแข็งแรงพอสมควร ซึ่งจะดำเนินการก่อสร้างบริเวณ Second Order Stream หรือ Third Order Stream ของลำห้วย ส่วนที่สองฝายต้นน้ำลำธารแบบถาวร เป็นฝายต้นน้ำลำธารแบบถาวร เป็นฝายชนิดคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความมั่นคง แข็งแรงซึ่งจะดำเนินการก่อสร้างในตอนปลายของลำห้วย



ภาพที่ 8 ฝายต้นน้ำแบบถาวรพัฒนาให้เป็นเครื่องมือวัดปริมาณของน้ำ (อส, 2556)

ซึ่งปัจจุบันฝายเป็นโครงสร้างทางชลประทานมีลักษณะเป็นฝายน้ำล้นใช้สำหรับการเปลี่ยนขนาดและรูปแบบการไหลของแม่น้ำ ประโยชน์ของฝายมักจะถูกใช้ในการป้องกันน้ำท่วม เก็บน้ำบริเวณต้นน้ำ และบริหารทรัพยากรน้ำ แบ่งตามระยะเวลาการใช้งานเป็น ฝายถาวร ฝายชั่วคราว และถ้าแบ่งตามลักษณะวัสดุฝายโครงสร้างไม้ ฝายหินทิ้ง ฝายหินก่อบนดินถมอัดแน่น ฝายคอนกรีต เป็นต้น (ปราโมท, 2554) ส่วนใหญ่ตามสภาพพื้นที่ในประเทศไทยปัจจุบันจะการสร้างฝายลักษณะฝายน้ำล้น ทำให้เกิดการพัฒนาในด้านการออกแบบโครงสร้างของฝายที่เหมาะสมกับสภาพการใช้การในแต่ละพื้นที่ที่ความแตกต่างกันออกไป และมีแนวคิดในเรื่องของการนำการจัดการทางน้ำ (ฝาย) กับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำมารวมกัน เพื่อออกแบบสร้างนวัตกรรมใหม่ๆของฝายที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและการจัดการแหล่งน้ำควบคู่ไปด้วย ซึ่งในการสร้างฝายเบื้องต้น ต้องมีการเรียนรู้และออกแบบฝายที่มีความสอดคล้องกับสมการที่ใช้ในการคำนวณของค่าพลังงานของน้ำ

ดังนั้น งานวิจัยนี้สนใจศึกษาเพื่อการพัฒนาในด้านการออกแบบโครงสร้างของฝายน้ำล้น เพื่อมีการส่งน้ำ กระจายน้ำเพื่อไปสนับสนุนกิจกรรมต่างๆ ตลอดจนการระบายน้ำอย่างมีประสิทธิภาพผลที่สูงที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยฝายเป็นเครื่องมือใช้ในการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ เพื่อนำมา

คำนวณค่าต่างๆที่มีความสัมพันธ์กับรูปแบบโครงสร้างของฝายน้ำล้น และนำมาคำนวณค่าของพลังงานของน้ำที่ถูกต้องต่อไป.

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา
2. เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงานของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา
3. เพื่อพัฒนาสมการอธิบายอัตราการไหลของฝายน้ำล้นแบบสันหนาแบบผิวเรียบ

ขอบเขตการศึกษา

1. ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่นของน้ำ โดยใช้ค่าความหนาแน่นของน้ำคงที่ตลอดการทดสอบ เท่ากับ 998 kg/m^3
2. ในการคำนวณค่าต่างๆ จะใช้สมการการคำนวณแบบราบเรียบ (Laminar)
3. ในการสร้างฝายใช้วัสดุการสร้างฝายด้วยแผ่นอะคริลิก
4. ทำการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ รูปแบบสันฝาย และขนาดความหนาของฝายชนิดกลุ่มละ 3 ค่า
5. ลักษณะสันฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฝายรูปสามเหลี่ยม

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ชุดทำการทดสอบพลังงานน้ำของฝายน้ำล้น
2. ได้ทราบลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา
3. ได้ทราบสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา
4. ได้เรียนรู้กระบวนการในการดำเนินงานวิจัยอย่างเป็นระบบ
5. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องระบบชลประทานสามารถใช้ในการออกแบบฝาย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติพื้นฐานของของไหล ของไหลเป็นสสารที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีแรงเฉือน มากระทำอาจแบ่งของไหลได้เป็นของไหลที่ยุบตัวไม่ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของของเหลวที่มีความหนาแน่นคงที่ เช่น น้ำ น้ำมัน ฯลฯ กับของไหลที่ยุบตัวได้หรืออัดได้ จะอยู่ในรูปของก๊าซหรือไอที่มีความหนาแน่นไม่คงที่ สมบัติทางฟิสิกส์ของของไหลได้แก่ ความเร็ว ความเร่ง ความดัน ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะ น้ำหนักจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ เป็นต้น ซึ่งสมบัติดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งและเวลา และจะเกิดขึ้นในทั้ง 3 มิติ ในการศึกษาชั้นพื้นฐานมักจะศึกษาในระนาบเดียว เพราะง่ายต่อการเข้าใจไม่ต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่สูงมาก

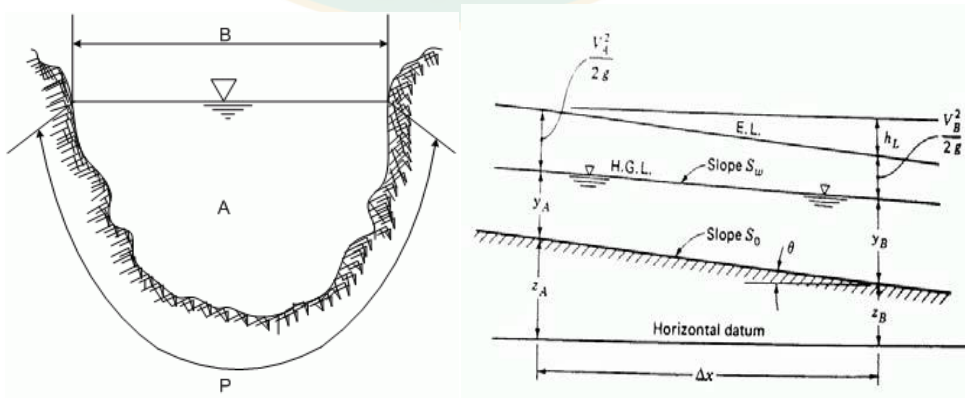
2.1 การไหลในทางน้ำเปิด

การที่มวลหรืออนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ต่อเนื่องจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง การไหลในทางน้ำเปิดเป็นการไหลในลักษณะที่ผิวของน้ำสัมผัสกับอากาศ โดยมีความดันบรรยากาศกระทำต่อผิวของน้ำซึ่งเรียกว่าผิวของไหลอิสระ

2.1.1 ประเภทของทางน้ำเปิด

ประเภทของทางน้ำเปิดแบ่งตามการกำเนิดได้ 2 ประเภท คือ

1) ทางน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Channels) โดยเกิดจากการกัดเซาะของน้ำ เมื่อน้ำทำไหลลัดเลาะจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำตามธรรมชาติ ได้แก่ คู ลำธาร ลำห้วย คลอง แม่น้ำ พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำธรรมชาติมักไม่เป็นรูปเรขาคณิต โดยส่วนใหญ่จะเป็นรูปคล้ายพาราโบลา ดังแสดงในภาพที่ 9



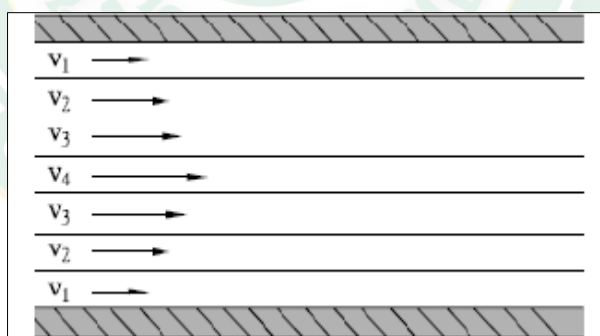
ภาพที่ 9 หน้าตัดทั่วไปของทางน้ำธรรมชาติและการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไป (ปราโมท, 2554)

2. ทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น (Regulated Channels) เป็นทางน้ำที่สร้างขึ้นเลียนแบบทางน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยกำหนดแนวของทางน้ำที่เหมาะสมได้แก่ คลอง ทำหน้าที่ต่างๆ เช่น คลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำ คลองชักน้ำ คลองผันน้ำ เป็นต้นและคู คูส่งน้ำ คูระบายน้ำ มักสร้างให้มีหน้าตัดเป็นรูปทรงเรขาคณิตเช่น สี่เหลี่ยมมุมฉาก สี่เหลี่ยมคางหมู ครึ่งวงกลม สามเหลี่ยม ฯลฯ ในกรณีที่เป็นคลองส่งน้ำหรือคูส่งน้ำ มักมีการป้องกันความเสียหายของลาดข้างจากการกัดเซาะของน้ำหรือเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจากการรั่วซึม โดยมักมีการปิดทับหน้าด้วยคอนกรีต หินก่อ หินเรียงยาแนว เป็นต้น หากไม่มีการป้องกันลาดดังกล่าว หรือเมื่อเกิดการตกจมของตะกอน หน้าตัดอาจเปลี่ยนไปเป็นรูปพาราโบลา หรือเป็นรูปอื่นๆ ได้

2.1.2 รูปแบบของการไหลในทางน้ำเปิด

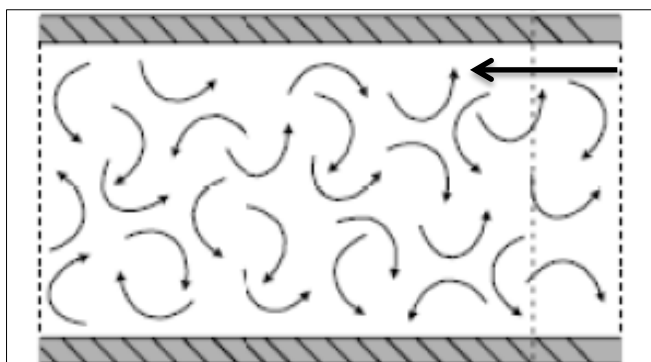
การไหลบอกได้ด้วยความเร็วของการไหล (Velocity) และอัตราการไหล (Discharge or Rate of Flow) รูปแบบของการไหลนั้นสามารถแบ่งได้หลายอย่างขึ้นกับว่าจะพิจารณาองค์ประกอบใด การแบ่งตามทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลหรืออนุภาคของของไหลแบ่งได้ คือ 3 แบบ

1) ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flows) เป็นการไหลที่มวลหรืออนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ตามกันในทิศทางที่แน่นอน ในลักษณะเป็นแผ่นหรือเป็นชั้นๆ มักเกิดในของไหลที่มีความหนืดสูง มีความเร็วต่ำ ได้แก่ การไหลของน้ำใต้ดิน การไหลของน้ำมันในท่อที่ความเร็วต่ำๆ ฯลฯ มักไม่เกิดในการไหลในทางน้ำเปิด ดังแสดงในภาพที่ 10



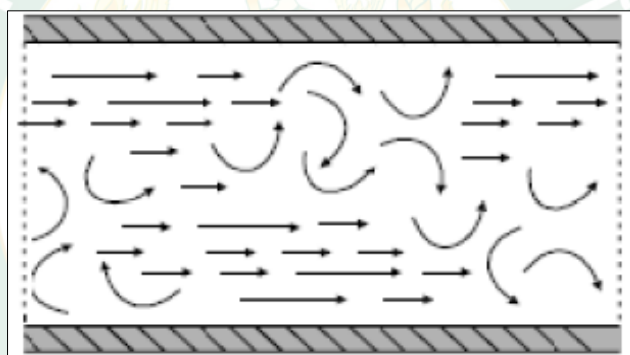
ภาพที่ 10 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (ปราโมท, 2554)

2. ลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flows) เป็นการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปอย่างไม่แน่นอน ไม่เป็นระเบียบ เปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและทิศทางในช่วงเวลาสั้นๆ มีความเร็วสูงๆ ซึ่งเป็นสภาพการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไป ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (ปราโมท, 2554)

3. ลักษณะการไหลแบบช่วงต่อ (Transition Flows) เป็นการไหลแบบผสมผสานระหว่าง Laminar Flows และ Turbulent Flows โดยเป็นการไหลช่วงกลางก่อนที่จะเปลี่ยนการไหลจาก Laminar Flows ไปเป็น Turbulent Flows อย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 12



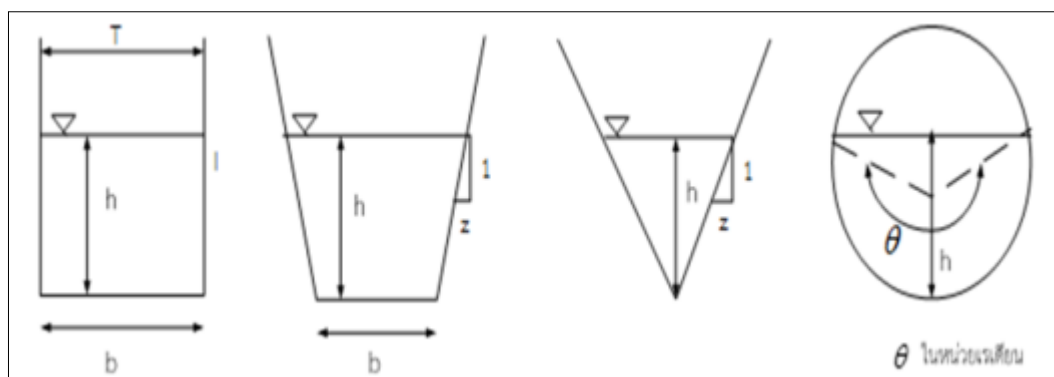
ภาพที่ 12 ลักษณะการไหลแบบช่วงต่อ (ปราโมท, 2554)

2.1.3 คุณสมบัติการไหลในทางน้ำเปิด

ในทางน้ำโดยทั่วไป ในการคำนวณจะสมมุติให้มีลักษณะการไหลแบบ Steady-Uniform ที่ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและระยะทาง

1. ความลึก ความเร็ว พื้นที่หน้าตัด และปริมาณการไหลของน้ำที่ทุกตำแหน่งในทางน้ำมีค่าคงที่
2. ความลาดชันของเส้นพลังงานรวม ผิวน้ำ และพื้นทางน้ำมีค่าเท่ากัน หรือเส้นความลาดชันทั้งสามเส้นขนาน ทั้งหมดดังแสดงในภาพที่ 13

ทั้งนี้ หากพิจารณาการไหลในทางน้ำที่มีหน้าตัดคงที่ ลักษณะทางเรขาคณิตของทางน้ำสามารถหาค่าได้จากตารางที่ 1



ภาพที่ 13 ลักษณะทางเรขาคณิตของทางน้ำไหล (ปราโมท, 2554)

ทางน้ำไหลแบบปริซึม (Prismatic Channel) คือ ทางน้ำที่มีหน้าตัดการไหล และความลาดท้องคลองคงที่หน้าตัดที่สร้างขึ้นอาจจะเป็นรูปสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยม

ทางน้ำเปิดแบบไม่เป็นปริซึม (Non Prismatic Channel) คือ ทางน้ำที่มีหน้าตัดการไหลและความลาดท้องคลองไม่คงที่ เช่น คลองธรรมชาติ หรือแม่น้ำ

หน้าตัดท้องน้ำ (Channel Section) คือ พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ

ความสูงการไหล (Depth of Flow) สัญลักษณ์ h คือ ระยะทางที่วัดในแนวตั้ง จากท้องคลองถึงผิวอิสระของการไหล

ความสูงการไหลในหน้าตัดของทางน้ำ (Depth of Flow Section) สัญลักษณ์ d คือ ระยะที่วัดแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลจากท้องคลองถึงผิวอิสระ

ความกว้างทางน้ำ (Top Width) สัญลักษณ์ B คือ ความกว้างของหน้าตัดการไหลวัด ณ ผิวอิสระของการไหล

พื้นที่หน้าตัดการไหล (Flow Area) สัญลักษณ์ A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล

เส้นรอบรูปเปียก (Wetted Perimeter) สัญลักษณ์ P คือ ความยาวของเส้นรอบรูปของหน้าตัดการไหลที่วัดระหว่างของอิสระทั้งสองข้าง

รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) สัญลักษณ์ R คือ อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดน้ำกับเส้นรอบรูปเปียก R เท่ากับ A/P

ความสูงชลศาสตร์ (Hydraulic Depth) สัญลักษณ์ D คือ อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดกับความกว้าง D เท่ากับ A/B

แฟกเตอร์หน้าตัดการไหลวิกฤต (Section Factor for Critical Flow) สัญลักษณ์ z คือ ผลคูณของพื้นที่หน้าตัดกับรากที่สองของความสูงชลศาสตร์ Z เท่ากับ $AD^{1/2}$

แฟกเตอร์หน้าตัดการไหลสม่ำเสมอ (Section Factor for Uniform Flow) สัญลักษณ์ U คือผลคูณของพื้นที่หน้าตัดผิวน้ำกับรัศมีชลศาสตร์ยกกำลังสองส่วนสาม U เท่ากับ $AR^{2/3}$

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของฝายที่มีหน้าตัดแบบต่างๆ (ปราโมท, 2554)

หน้าตัด	สัญลักษณ์	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยมคางหมู	สามเหลี่ยม	วงกลม
พื้นที่หน้าตัด	A	bh	$(b + hy)h$	zh^2	$\frac{1}{8}(\theta - \sin\theta) \times D^2$
เส้นขอบเปียก	P	b+2h	$(b + zh)\sqrt{1+z^2}$	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{1}{2}\theta D^2$
ความกว้างของ หน้าตัดการ ไหล	B	b	$b + 2zh$	2zh	$D \sin \frac{\theta}{2}$
ความสูงชล ศาสตร์	D	h	$\frac{(b + 2zh)h}{(b + 2zh)}$	$\frac{h}{2}$	$\frac{\theta - \sin\theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \times \frac{D}{8}$

2.1.4 ฝายน้ำล้น

ฝายเป็นอาคารที่สร้างขึ้นสำหรับทดน้ำในลำน้ำที่ไหลมาในปริมาณต่างๆ กันให้มีระดับสูงจนสามารถส่งน้ำเข้าคลอง ส่งน้ำที่ขุดออกสองฝั่งลำน้ำด้านหน้าฝาย ลัดเลาะไปตามสภาพภูมิประเทศให้กับพื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ด้านท้าย โดยหน้าที่ของฝายนอกจากการทดน้ำแล้ว เมื่อน้ำมีระดับสูงมากกว่าระดับของสันฝาย น้ำก็จะไหลข้ามสันฝายออกไปสู่ด้านท้ายน้ำ ฝายจึงทำหน้าที่ระบายน้ำล้นด้วย จึงอาจเรียกเป็นฝายน้ำล้นหรือฝายระบายน้ำ ทั้งนี้สามารถแบ่งประเภทของฝายได้ 5 ประเภทดังต่อไปนี้

1. แบ่งประเภทฝายตามลักษณะความมั่นคงแข็งแรง

พิจารณาจากการก่อสร้างเป็นฝายเฉพาะฤดูกาล ฝายชั่วคราว ฝายกึ่งถาวรหรือฝายคอกหมู ฝายถาวร ฯลฯ

2. แบ่งประเภทฝายตามวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้าง

พิจารณาจากวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้าง ได้แก่ ฝายดินถม ฝายหิน หินทิ้ง หินเรียง หินเรียงยาแนว หินก่อ) ฝายโครงสร้างไม้ ฝายคอนกรีต ฝายคอนกรีตเสริมเหล็ก ฯลฯ

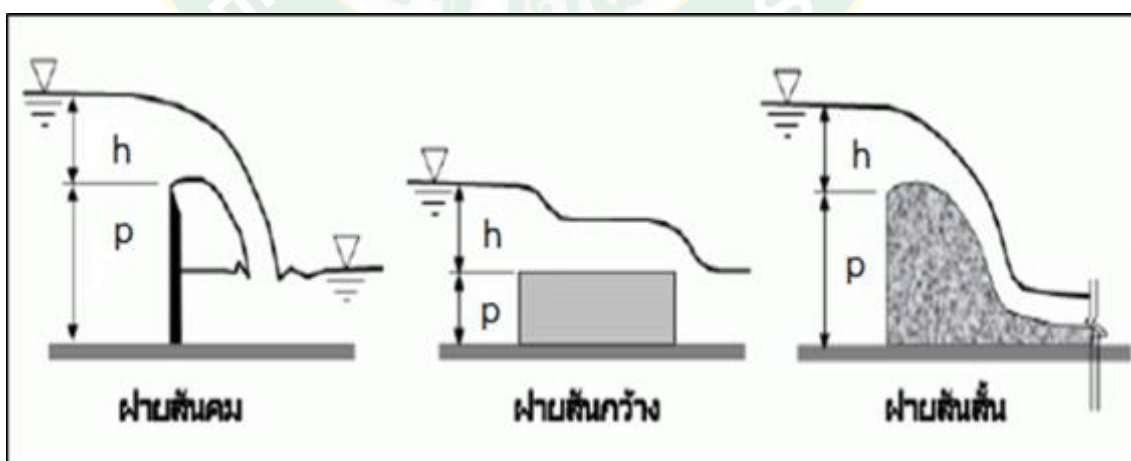
3. การแบ่งประเภทฝายตามลักษณะหน้าตัดของฝาย

มีการจัดแบ่งใหม่ตามลักษณะการไหลของน้ำเหนือสันฝาย เป็น 3 ประเภทถ้าให้ h เท่ากับ ความสูงของน้ำที่ไหลผ่านสันฝาย p เท่ากับ ความหนาของสันฝาย

- ฝายรูป (Sharp Crested Weir or Thin Plate Weir) เป็นฝายที่มีรูปลักษณะการไหลเป็นแบบไหลตกอิสระ โดยเกิด Critical Depth ที่ตำแหน่งสันฝายคม ได้แก่ ฝายวัดน้ำแบบฝายรูปรูปร่างต่างๆ อาจพิจารณาจาก $h/p \geq 15$

- ฝายสันกว้าง (Broad Crested Weir) เป็นฝายที่มีสันฝายหนาหรือกว้างลักษณะการไหลมีการกระจายความดันแบบความดันสถิตเท่ากันตลอดความกว้างบนสันฝาย หรือเกิด Critical Depth เกือบทุกตำแหน่งบนสันฝาย โดยทั่วไปจะหมายถึงฝายวัดน้ำแบบฝายสันกว้างรูปร่างต่างๆ อาจพิจารณาจาก $h/p \leq 1$

- ฝายสันสั้น (Short Crested Weir) เป็นการแบ่งประเภทฝายที่เพิ่มเติมขึ้นมาใหม่ โดยจะมีลักษณะการไหลเหนือสันฝายเป็นแบบการไหลตกอิสระเช่นเดียวกับฝายรูป ฝายสันกว้างมีลักษณะไหลที่มีการกระจายความดันแบบความดันสถิตตลอดแนวเหนือสันฝาย โดยการไหล Critical Depth จะเกิดที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนสันฝาย ดังนั้นฝายรูปร่างต่างๆ ที่ไม่ใช่ฝายวัดน้ำแบบรูปและแบบสันกว้าง จะจัดอยู่ในฝายกลุ่มนี้ทั้งสิ้น ซึ่งได้แก่ ฝายทดน้ำ ฝายระบายน้ำหรือทางระบายน้ำล้น ที่มักเรียก “ฝายแข็ง” (การไหลของฝายสันสั้นที่มีสันฝายแบน) อาจมีการไหลในลักษณะการไหลของฝายสันกว้างได้ แต่จะมีเป็นบางช่วงเวลาของการไหล จึงไม่ให้ความสำคัญว่าต้องคำนวณในลักษณะของฝายสันกว้าง อาจพิจารณาจาก $(1 \leq h/p \leq 15)$ ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงรูปตัดลักษณะการไหลของฝายสันคม ฝายสันกว้าง และฝายคมสั้น (ปรียาพร, 2556)

4. การแบ่งประเภทฝายตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานหรือหน้าที่หลัก

การแบ่งประเภทฝายตามวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานหรือหน้าที่หลัก โดยแบ่งออกเป็น 3 แบบ

- ฝายทดน้ำ เป็นฝายที่ก่อสร้างปิดกั้นทางน้ำ โดยเป็นอาคารหลักของโครงการประเภทฝาย เพื่อทำหน้าที่ทดน้ำให้มีระดับที่สูงขึ้น และให้น้ำส่วนเกินระบายไหลข้ามออกไป ได้แก่ ฝายสันมน (Ogee Weir) ฝายยาง (Rubber Weir หรือ Rubber Dam) ฝายเกเบียน (Gabion Weir) ฝายหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฝายหยัก ฯลฯ

- ฝายน้าล้นหรือฝายระบายน้ำหรือทางระบายน้ำล้นเป็นฝายที่สร้างเป็นอาคาร ประกอบของโครงการประเภทเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ ทำหน้าที่ระบายหรือควบคุมปริมาณน้ำในเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ ให้มีระดับที่เหมาะสม มีความปลอดภัยต่อความมั่นคงแข็งแรงของตัวเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ

- ฝายวัดน้ำ เป็นฝายสร้างขึ้นเพื่อทำหน้าที่วัดปริมาณน้ำในทางน้ำโดยเฉพาะ เพื่อช่วยให้การควบคุมหรือบริหารจัดการน้ำสะดวกยิ่งขึ้นแบ่งได้เป็น ฝายวัดน้ำรูป ฝายวัดน้ำสันกว้าง ฝายวัดน้ำสันสั้นและฝายวัดน้ำรูปแบบอื่นๆ

5. การแบ่งฝายออกตามลักษณะของการควบคุมการระบายน้ำ

การแบ่งฝายตามลักษณะการควบคุมการระบายน้ำ แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ

- ฝายที่ไม่มีการควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน (Uncontrolled Weir) เป็นฝายที่มีการระบายน้ำแบบตายตัว ระดับสันฝายเป็นระดับเดียวกับระดับน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำหรือเป็นระดับที่จะทำให้น้ำที่ไหลหลากด้านเหนือน้ำในลำน้ำเอ่อขึ้นได้สูงสุด โดยไม่เกิดการไหลบ่าออกไปท่วมพื้นที่สองฝั่งลำน้ำ เมื่อระดับน้ำสูงเกินระดับเก็บกักหรือระดับสันฝาย น้ำก็จะไหลล้นข้ามฝายออกไป ฝายกลุ่มนี้มักออกแบบให้มีระดับน้ำสูงสุดด้านหน้าฝายไม่สูงมากนัก ทำให้เกิดผลกระทบทำให้น้ำท่วมพื้นที่ด้านไม่เหนือน้ำ) โดยอาจแบ่งย่อยได้เป็น ฝายที่มีสันเป็นแนวตรง ฝายที่มีสันไม่เป็นแนวตรง

- ฝายที่มีการควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน (Controlled Spillway) เป็นฝายที่มีการใช้อุปกรณ์ควบคุมซึ่งมักติดตั้งบนสันฝาย เพื่อเป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องการระบายออกไป หรือเพื่อเพิ่มระดับและปริมาณน้ำเก็บกักให้สามารถเก็บกักน้ำในช่วงปลายฤดูน้ำหลากได้เพิ่มขึ้น อนึ่งฝายที่มีบานระบายควบคุม ตัวฝายมักมีลักษณะเป็นฝายสันมน (ปรียาพร, 2556)

2.2 การวัดอัตราการไหลของน้ำ

อัตราการไหล ถูกกำหนดโดยการวัดค่าความเร็วของเหลว (Velocity) หรือการเปลี่ยนแปลงในพลังงานเกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (Kinetic Energy) อัตราการไหล (Flow Rate) ขึ้นอยู่กับความแตกต่างกันความกดดัน (Pressure) คือกำลังบังคับให้ของเหลวผ่านท่อ เพราะว่าพื้นที่ส่วนที่ตัดตามขวางของท่อ (Cross-section Area) เป็นค่าคงที่ ความเร็วเฉลี่ยคือการชี้บอกของอัตราการไหล

อัตราการไหล (Discharge) Q คือ ปริมาณหรือปริมาตร V_0 ของของไหลที่ เปลี่ยนตำแหน่งหรือเคลื่อนที่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา t เกิดความเร็วกการไหล V

$$Q = \frac{V_0}{t} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad \text{สมการที่ 1}$$

หากให้ S คือ ระยะการเปลี่ยนตำแหน่ง หรือเคลื่อนที่ ; $S = V \times t$
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของของไหลที่เคลื่อนที่

ดังนั้น $V_0 = S \times A = V \times t \times A$
 หารด้วย t ทั้งสองด้าน

$$\frac{V_0}{t} = VA$$

ดังนั้น $Q = VA \quad \text{m}^3/\text{s} \quad \text{สมการที่ 2}$
 เมื่อ

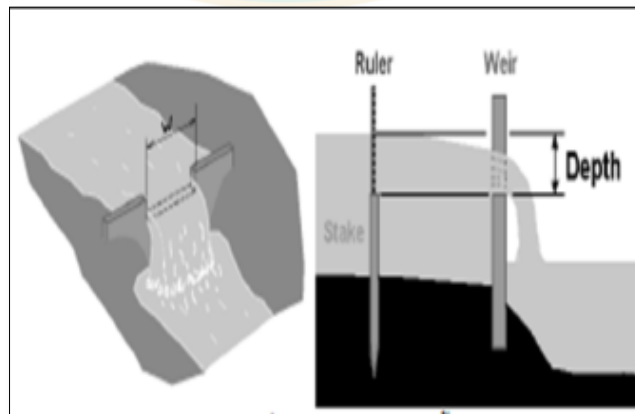
Q คือ อัตราการไหล (L/s)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

ฝายวัดน้ำ (Weirs) ฝายวัดน้ำมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ฝายรูปสี่เหลี่ยม ฝายรูปสามเหลี่ยม ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฝายรูปแบบโค้ง และฝายสันหนา ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะฝายรูปสี่เหลี่ยม

ฝายรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Weir) มีฝายวัดน้ำทางด้านเหนือน้ำอยู่ในแนวตั้งและวางแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล โดยจะต้องมีความดันบรรยากาศบริเวณใต้แนวน้ำล้น และทางน้ำควรอยู่ในแนวเส้นตรง โดยไม่มีสิ่งกีดขวางทางการไหล โดยระดับน้ำเหนือสันฝายความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย (h) จะต้องวัดที่ระยะห่างจากสันฝายไปทางเหนือน้ำที่จุดที่มีระดับน้ำอยู่ในแนวราบ เพื่อเลี่ยงความผิดพลาดเนื่องจากการโค้งของผิวน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ฝายวัดอัตราการไหลของน้ำ (ปราโมท, 2554)

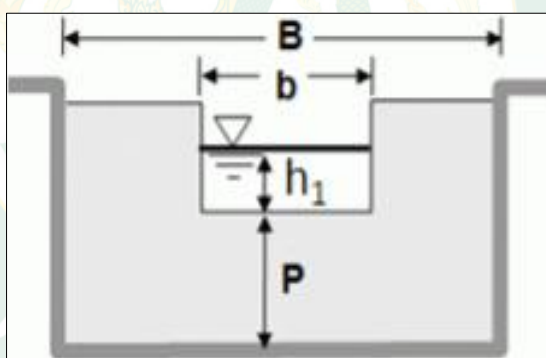
2.3 สมการการหาอัตราไหลของน้ำของฝายสันคัม

การใช้ฝายสันคัมเป็นเครื่องมือวัดปริมาณน้ำในทางน้ำนั้น นักชลศาสตร์ได้พยายามคิดค้นรูปแบบฝายที่หลากหลาย เพื่อที่จะแก้ปัญหาข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในฝายบางแบบ รวมทั้งทำให้การวัดปริมาณน้ำทำได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น ฝายสันคัมได้รับการพัฒนาขึ้นมาหลายรูปแบบ ซึ่งรูปแบบที่นำมาสร้างใช้งานจริงในปัจจุบันส่วนมากจะเป็น ฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ฝายรูปแบบสามเหลี่ยม เพื่อหาและเป็นเครื่องมือการวัดอัตราไหลของน้ำผ่านฝายนี้นั้นๆ มีสมการใช้ในการคำนวณของแต่ละรูปแบบของฝายมีดังนี้

1. ฝายสันคัมสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ฝายสันคัมสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง (Fully Contracted Weirs) ตัวฝายจะเป็นช่องเปิดที่มีความยาวสันฝายเพียงส่วนหนึ่งของความกว้างทางน้ำ โดยส่วนที่เป็นสันคัมจะมี 3 ด้าน คือ สัน ฝาย และขอบ 2 ข้าง

สมการของ Kindsvater และ Carter โดยมีตัวแปรแทนลักษณะ ความกว้างของสันฝาย (B) ความกว้างของฝาย (b) ความสูงของน้ำเหนือฝาย (h) และความสูงของฝาย (P) ดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ฝายสันคัมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีบีบข้าง (ปราโมท, 2554)

สมการของฝายสันคัมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$Q = C_e \times \frac{2}{3} \sqrt{2g} \times b_e \times h_e^3$$

สมการที่ 3

เมื่อ

Q คือ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝาย (m³/s)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก g เท่ากับ 9.81 (m/s²)

h_e คือ h₁+k_n คือ ความลึกประสิทธิผลของระดับน้ำที่ไหลผ่านฝาย (m)

b_e คือ $b+k_b$ คือ ความยาวประสิทธิผลสันฝายแบบปีบข้าง

k_h คือ 0.001 ม. คือ ค่าปรับความลึกที่เป็นผลจากความหนืดและแรงตึงผิว

k_b คือ ค่าปรับความยาวสันฝายที่เป็นผลจากความหนืดและแรงตึงผิว (m) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า b/B

C_e คือ ค่าสมประสิทธิ์ของการไหล ขึ้นกับค่าของ h_1/P และ b/B

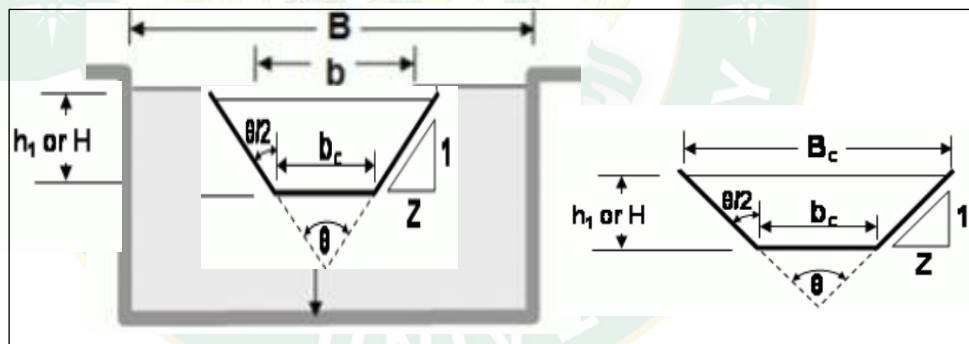
สมการหาค่าสมประสิทธิ์ของการไหล (รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า)

$$C_e = 0.392 + 0.50 \times \frac{h_1}{P} + 0.2 \times \frac{b}{B}^{2.5}$$

สมการที่ 4

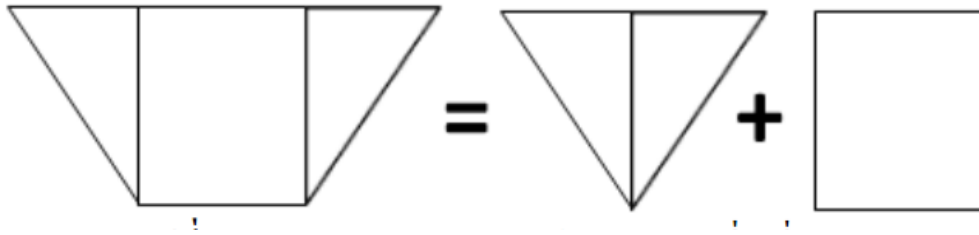
2. ฝายสันคมสี่เหลี่ยมคางหมู

หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู นั้นมาจากส่วนตัดของสามเหลี่ยม ซึ่งแสดงตามรูปด้านล่าง โดยส่วนที่เป็นสันคมต้องกลมมนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 45 องศา แสดงดังในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ลักษณะของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (ปราโมท, 2554)

ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมาจากฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมและฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม ประกอบกันดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 หลักการคำนวณของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (ปราโมท, 2554)

$$\text{สมการของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า} \quad Q = C_e \times \frac{2}{3} \sqrt{2g} \times b_e \times h_e^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{สมการของฝายสันคมสามเหลี่ยม} \quad Q = C_e \times \frac{8}{15} \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h_1^{\frac{5}{2}}$$

$$Q \text{ ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู} = Q \text{ ฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า} + Q \text{ ฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม}$$

$$Q = C_e \times \frac{2}{3} \sqrt{2g} \times b h_1^{\frac{3}{2}} + C_e \times \frac{8}{15} \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h_1^{\frac{5}{2}}$$

ดังนั้น

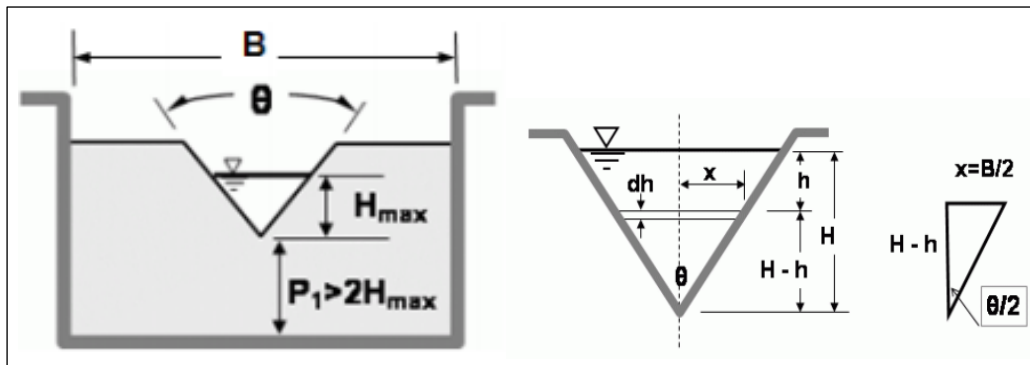
สมการของฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

$$Q = C_e \times \frac{2}{3} \sqrt{2g} \times b_c + \frac{4}{5} h \tan \frac{\theta}{2} \times h_1^{\frac{3}{2}}$$

สมการที่ 5

3. ฝายสันคมสามเหลี่ยม

James Thomson (1859) ได้เสนอรูปแบบฝายสันคมแบบสามเหลี่ยมที่สามารถลดข้อจำกัดหรือปัญหาการใช้ฝายสันคมสี่เหลี่ยมผืนผ้าลงได้ ในกรณีที่วัดปริมาณน้ำเมื่ออัตราการไหลน้อยๆ หรือ Head ต่ำๆ ดังนั้น จึงมักเรียกฝายสันคมรูปสามเหลี่ยมว่า Thomson Weir แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 รูปแบบฝายสันคมแบบสามเหลี่ยม (ปราโมท, 2554)

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{x}{(H-h)} = \frac{(B/2)}{(H-h)}$$

$$B = 2 \tan \frac{\theta}{2} (H-h)$$

$$dQ = C_e \times B \times dh \sqrt{2gh}$$

$$dQ = C_e 2 \tan \frac{\theta}{2} (H-h) \times \sqrt{2gh} \times dh$$

$$dQ = C_e 2 \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh} \int_0^H ((H-h) \times h^{3/2}) \times dh$$

$$dQ = C_e 2 \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh} \left[\left(\frac{2}{3} H \times h^{3/2} \right) - \left(\frac{2}{5} h^{5/2} \right) \right]_0^H$$

ดังนั้น

สมการของฝายสันคมสามเหลี่ยม

$$Q = C_e \times \frac{8}{15} \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h_1^{5/2}$$

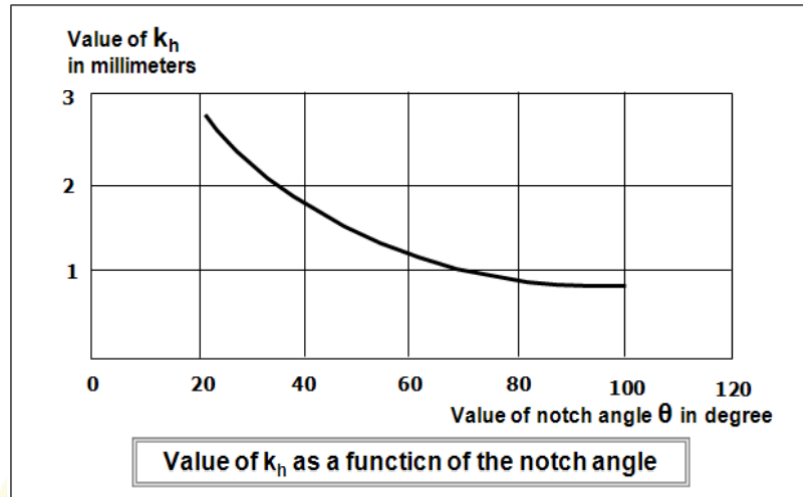
สมการที่ 6

เมื่อ

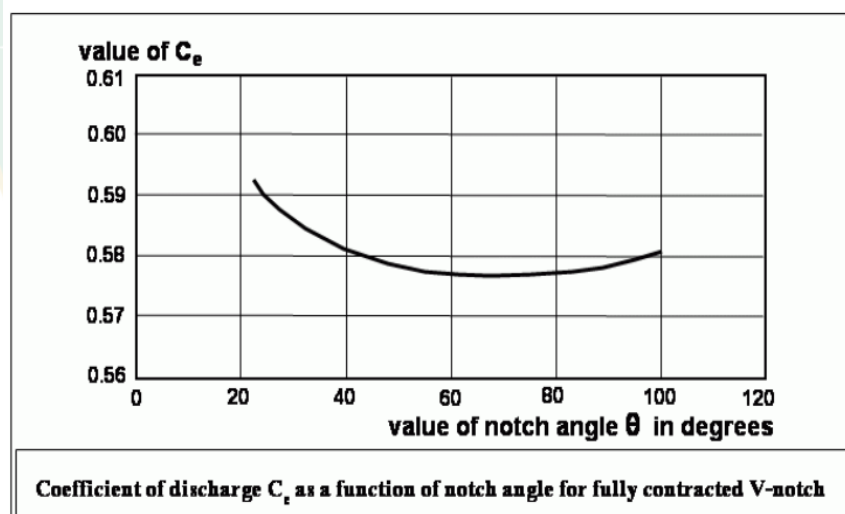
h_e คือ $h_1 + k_h$ คือ ความลึกประสิทธิผลของระดับน้ำที่ไหลผ่านฝาย (m)

k_h คือ ค่าปรับความลึกที่เป็นผลจากความหนืดและแรงตึงผิว ขึ้นกับมุม θ ที่มีค่าระหว่าง 20 – 100 องศา หาได้จากกราฟแสดงดังภาพที่ 20

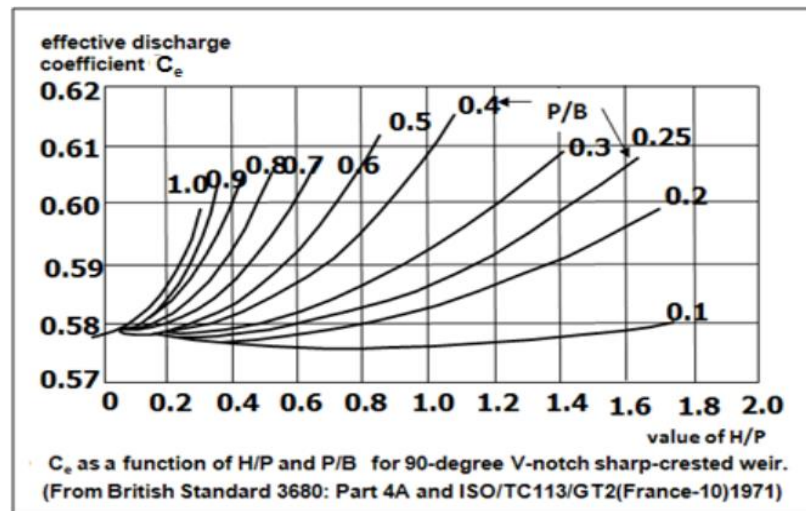
C_e คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลขึ้นกับค่ามุม θ ของฝาย โดยฝายทั่วไปหาได้โดยกราฟในภาพที่ 21 ส่วนฝายที่มีมุม 90 องศา ขึ้นกับของ H/P และ P/B หาได้จากกราฟในภาพที่ 22



ภาพที่ 20 กราฟค่าปรับความลึกที่มีความสัมพันธ์กับมุม θ ของฝาย (ปราโมท, 2554)



ภาพที่ 21 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำผ่านฝายสันคมสามเหลี่ยมทั่วไป (ปราโมท, 2554)



ภาพที่ 22 กราฟค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลขึ้นกับค่าของ H/P กับ P/B สำหรับฝายสันคมสามเหลี่ยม ที่มีมุม 90 องศา (ปราโมท, 2554)

กรณีฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบิข้าง ($b/B < 1$)

$$Q = KLH^{3/2}$$

เมื่อ

Q คือ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝายแบบ (m^3/s)

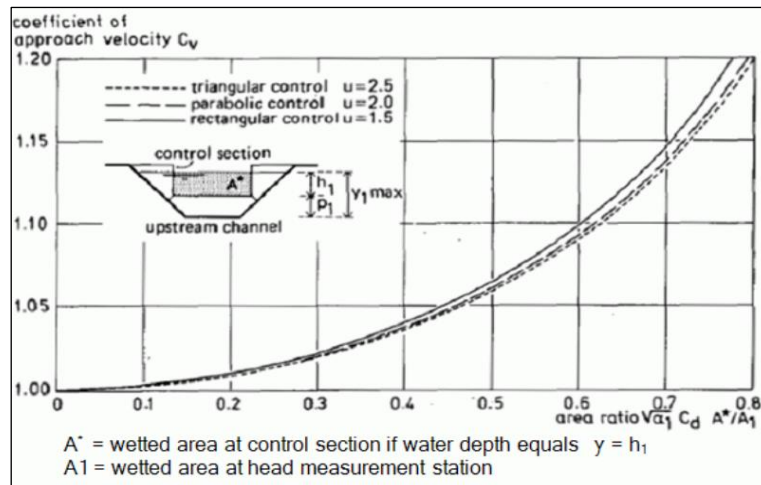
L คือ ความยาวของสันฝาย (m)

H คือ ความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำเหนือสันฝาย (m)

K คือ สัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝาย (หรือ คือ C_d)

สมการที่ 7

หมายเหตุ ในกรณีที่ความเร็วของกระแสน้ำมากกว่า 0.30 m/s จะต้องนำค่า เสดเนื่องจากความเร็ว กระแสน้ำดังกล่าวมาคิด ด้วยนั้นคือ ค่า $H^{3/2}$ จะกลายเป็น $[(H+\Delta h)^{3/2} - \Delta h^{3/2}]$ เมื่อ Δh เท่ากับ $V^2/2g$ หรือใช้ค่า C_v หาได้จากกราฟในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 กราฟหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของกระแสน้ำ (C_v) (ปราโมท, 2554)

การใช้สมการปรับแก้ของ Francis

Francis พบว่าการไหลแบบผ่านช่องฝายที่มีไม่เต็มความกว้างของทางน้ำ จะเกิดการบีบตัวของ การไหลด้านข้างตามหลักการของ Orifice แต่ละข้างประมาณ 1/10 ของระดับน้ำเหนือสันฝาย โดยความยาวประสิทธิผลของสันฝายจะเป็นตามสมการ ต่อไปนี้

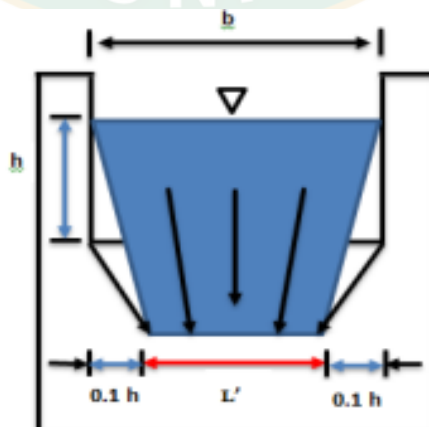
$$L_e = L - 0.1NH$$

สมการที่ 8

เมื่อ L_e คือ ความยาวประสิทธิผลของสันฝาย (m) H คือ ความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำสันฝาย (m)

L คือ ความยาวที่วัดได้จริงของสันฝาย (m) N คือ จำนวนการบีบตัวด้านข้าง (0,1,2)

ในกรณีที่ 0 ไม่มีการบีบตัว 1 บีบตัวข้างเดียว 2 บีบตัว 2 ข้าง กรณีฝายสี่เหลี่ยมแบบบีบข้าง มีการบีบ 2 ข้าง ทำให้ค่า $N = 2$ แสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ฝายวัดน้ำมีสันด้านข้างที่ขวางทางน้ำ

ดังนั้น สมการความยาวประสิทธิผลของสันฝาย

$$L_e = L - 0.2H$$

สมการที่ 9

สำหรับกรณีที่ฝายวัดน้ำมีสันด้านข้างที่ขวางทางน้ำ จะทำให้เกิดการบีบตัวของการไหล (Contraction of Flow) ทางด้านข้างทั้ง 2 ข้างจะทำให้อัตราการไหลลดลง จะต้องลดความยาวของสันฝายลง เป็นความยาวประสิทธิผลของสันฝาย แสดงดังภาพที่ 24

2.4 สมการพลังงานของน้ำ

พลังงาน (Energy) E หมายถึง ความสามารถในการทำงานได้ ซึ่งจะมี สะสมอยู่ในวัตถุ แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) อยู่ในวัตถุที่เคลื่อนที่
2. พลังงานศักย์ (Potential Energy) อยู่ในวัตถุที่อยู่นิ่ง ซึ่ง สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ
 - 2.1 พลังงานศักย์โน้มถ่วง จะอยู่ในวัตถุที่อยู่บนที่สูง
 - 2.2 พลังงานศักย์ยืดหยุ่น จะอยู่ในวัตถุที่มีความยืดหยุ่น

พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) คือ พลังงานอยู่ในวัตถุที่กำลัง เคลื่อนที่ โดยพลังงานจลน์ จะขึ้นอยู่กับมวล และอัตราเร็วของวัตถุ (สุโกสินทร์, 2560) ซึ่ง เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{พลังงานจลน์} = \frac{1}{2} \times \text{มวล} \times \text{อัตราเร็ว}^2$$

กำหนดให้ E_k แทนพลังงานจลน์

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

ดังนั้น

$$E_k = \frac{1}{2} \rho m v^2$$

สมการที่ 10

เมื่อ E_k คือ พลังงานจลน์ จูล (J)

m คือ มวล กิโลกรัม (kg)

v คือ อัตราเร็ว เมตรต่อวินาที (m/s)

ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่นของน้ำ (ρ) โดยใช้ค่าความหนาแน่นของน้ำคงที่ตลอดการทดสอบ เท่ากับ 998 kg/m^3

2.5 สมการการหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤต (Critical Reynolds number) เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลที่การไหลเปลี่ยนจากการไหลแบบลามินาร์ (Laminar flow) ไปเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Turbulent flow) สำหรับของไหลในรางน้ำแบบเปิด ถ้าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตมากกว่า 2,000 การไหลจะเปลี่ยนจากการไหลแบบลามินาร์ไปเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Network Solution) หาได้จากสมการที่ 11 (กุญชร, 2554) ซึ่งมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ค่าความหนาแน่นของน้ำ อัตราเร็วของน้ำ พื้นที่หน้าตัดของรางน้ำของฝาย และความหนืดของเหลวแบบไดนามิก แสดงสมการได้ดังนี้

สมการการหาค่า Reynolds number

$$R_e = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

สมการที่ 11

โดยในการทดลองมีการกำหนดค่า ρ เท่ากับ 998 kg/m^3

และค่า μ เท่ากับ 0.001 N.s/m^2

ค่าอัตราเร็วของน้ำ V หาได้จากสมการที่ 2

จะได้

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{m/s}$$

โดยที่ A เท่ากับ $hb \text{ m}^2$

และค่า D_h หาได้จาก

$$D_h = h \times W \quad \text{m}$$

สมการที่ 12

เมื่อ R_e คือ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

μ คือ ความหนืดของเหลวแบบไดนามิก (N.s/m^2)

V คือ อัตราเร็วของน้ำ (m/s)

D_h คือ พื้นที่หน้าตัดของรางน้ำของฝาย (m)

W คือ ความกว้างรางน้ำของสันฝาย (m)

2.6 รายการสัญลักษณ์ย่อ

ตารางที่ 2 รายการสัญลักษณ์ย่อต่างๆ (ปราโมท, 2554)

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดการไหล (Flow area)	m ²
B	ความกว้างของหน้าตัดการไหล	m
D	ความสูงชลศาสตร์ (Hydraulic depth)	m
F	ความสูงเหนือสันฝาย	m
H	ความสูงรวมของฝาย	m
P	เส้นรอบรูปเปียก (Wetted perimeter)	m
Q	อัตราการไหล	m ³ /s
R	รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic radius)	m
W	ความกว้างรวมของฝาย	M
Z	แฟกเตอร์หน้าตัดการไหลวิกฤต (Section factor for critical flow)	-
b	ความกว้างของสันฝาย	m
g	แรงโน้มถ่วง	m
h	ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย (Depth)	m
x	ระยะจุดตกของน้ำ	m
n	จำนวนด้านที่มีการบีบตัว	-
P	ความสูงของสันฝาย	m
C _d	สัมประสิทธิ์อัตราการไหลขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการไหลข้ามฝาย	-
L'	ความยาวประสิทธิผลของสันฝาย	m
V ₀	อัตราเร็วของน้ำ	m/s

2.7 การตรวจสอบเอกสาร

Ghorban Mahtabi et al (2018) ได้ศึกษาการวิเคราะห์เชิงทดลองและเชิงทฤษฎีของการไหลผ่านรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเต็มความกว้างของฝายสันคม ได้ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบอิสระและวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพที่กำหนดใช้ที่ดีที่สุดของสมการค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลขึ้นพื้นฐานที่มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) และค่าเฉลี่ยพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมที่มีความผิดพลาด (RMSE) ความสามารถในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่เปรียบเทียบของการไหลเกินฝายจะมีด้วยการตรวจสอบความราบรื่นโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงผลที่ได้ กับค่าที่เพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนความสูงเกินยอดฝายกับ

ความสูงของฝาย h/p ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่ลดลงไม่เชิงเส้นและถึงค่าคงที่ที่ 0.7 สำหรับ $h/p > 0.6$ ค่าที่ดีที่สุดของสมการค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่คาดการณ์ไว้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่ดีที่สุดและกำหนดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดภายในช่วง $\pm 5\%$ และผลเชิงตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลแสดงการหนักแน่นในยอมรับกับข้อมูลในการทดลอง การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับการแสดงของตัวเลข Reynolds ที่ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลถึง 0.7 เมื่อ $h/p > 0.6$ และ $Re > 2000$. (Ghorban, 2018)

Satreethai Poommai at (2012) ได้ทำการศึกษาความผันแปรของการถ่ายเทออกซิเจนไปตามแนวสันฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าของระยะทางบ่อน้ำบำบัดน้ำเสีย โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักจะสร้างในบริเวณเขตพื้นที่ชุมชน ซึ่งได้รับการระบุว่าเป็นแหล่งที่มาของน้ำเสียที่มีขนาดใหญ่กระจายไปทั่วราชอาณาจักรไทย รัฐบาลกำชับนักลงทุนให้สร้างโรงงานบำบัดน้ำเสียเพื่อชำระล้างให้พื้นตัว แต่น้ำเสียตายที่ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวที่มีเป็นจำนวนมากดูเหมือนไม่มีประสิทธิภาพสำหรับการทำของวิธีการเหล่านั้น เพื่อตอบสนองการบำบัดน้ำเสียที่จำเป็นสำหรับการนำมาใช้น้ำ H.M. พระมหากษัตริย์ของประเทศไทยมีริเริ่มการฟอกธรรมชาติภายใต้ธรรมชาติโดยการสนับสนุนกระบวนการธรรมชาติและเทคโนโลยีที่เรียบง่ายโดยการใช้น้ำพืช, ดินที่สร้างขึ้นและบ่อเสถียรภาพหนึ่งในโครงการที่ประสบความสำเร็จมากคือ "แหลมผักเบี้ย"โครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมภายใต้โครงการริเริ่มของพระราชดำริจังหวัดเพชรบุรี "งานวิจัยของเราคือดำเนินการในพื้นที่โครงการนี้จึงได้นำฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยการถ่ายเทออกซิเจนเข้าน้ำเสียไหลผ่านสันฝาย การทดลองตั้งค่าความลึกของน้ำเสีย 5 ระดับเป็นเมตร (0.03 0.04 0.05 0.06 และ 0.07 m) ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ผลการทดลองพบว่าความลึก 0.03 เมตรมีประสิทธิภาพสูงสุดการแพร่กระจายของออกซิเจนและลดลงเมื่อความลึกของน้ำเพิ่มขึ้น. (Satreethai, 2012)

Hamid et al (2017) ได้มีการออกแบบและทดลองใช้สันฝายที่มีปากความชันรูปสามเหลี่ยมชื่อเรียก SCWW ที่เป็นเอกลักษณ์แนะนำ ลักษณะทางของไหลของฝายในปัจจุบัน ได้รับการตรวจสอบทางทฤษฎีและทางทดลองภายใต้สภาวะการไหลของน้ำแบบมีอากาศถ่ายเทและช่องทางน้ำเปิดสำหรับรูปแบบทางกายภาพขนาดใหญ่ เพื่อตรวจสอบค่าความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์การอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านคราบของ SCWW กับความสูงของต้นน้ำและมีมุมเอียงเป็นค่าที่ครอบคลุมการทดลอง ในห้องปฏิบัติการได้ดำเนินการโดยการวัดการอัตราการไหลของน้ำและต้นน้ำเหนือยอดของฝายมีความเป็นไปได้ที่สูตรต่างๆ จากรูปที่ 1 แสดง คุณสมบัติของฝายรูปสามเหลี่ยมแบบสันคม V-notch ที่ระดับความสูงของน้ำเหนือสันฝาย h และยอดของฝายมี θ ที่ทำมุมเพื่อการไหลของล้นออกทางพื้นที่หน้าตัดของที่มีรูปสามเหลี่ยม และความสูงของ P_1 และความสูงของฝายที่เหนือสันฝาย P_2 และลักษณะการไหลของฝาย SCWW ที่มีมุม $\theta = 128$ และ $\theta = 60$ องศา ที่กำหนดไว้ในรูปที่ 2 (a, b และ c) และรูปที่ 3 ตามลำดับ ที่ความสูงของน้ำเหนือฝายและความสูงของฝาย h, p_3 ที่มีกระแส

น้ำวนที่มุมของ θ เพิ่มขึ้น ในความเป็นจริง SCWW ในรูปแบบทั่วไปเหมือนฝายรูปสามเหลี่ยมแบบสันคม แต่มีจำนวนส่วนรูปสามเหลี่ยมที่แตกต่างกัน(Nts) ผลการทดลองทดลองทำในทุกรูปแบบด้วยความกว้างของยอดฝาย 1 เมตร และมุมยอดที่เป็นที่นิยมใช้ θ เท่ากับ 30 45 60 90 120 128 และ 150 องศา ในสภาวะที่มั่นคงและปราศจากการไหลที่แสดงดังรูปที่ 4 (D, E) อธิบายการตั้งค่าการทดลอง ทุกรูปแบบมีประติศรัณณ์แผ่นคอนกรีตหนา 0.05 เมตร และตั้งอยู่ห่างจากทางเข้าของช่องประมาณ 3 เมตรสำหรับความสัมพันธ์การไหลผ่านสันฝายของ SCWW ได้รับการตรวจสอบและเหมาะสม สมการเชิงวิเคราะห์ที่ได้เสนอ ค่าการของอัตราการไหลที่คำนวณได้โดยใช้สมการที่แนะนำอยู่ในช่วงที่ 0-10% ของคนที่สังเกตเห็น จากการสังเกตการณ์เชิงทดลองพบว่า SCWW มีประสิทธิภาพดีขึ้นเปรียบเทียบกับสายปกติ. (Hamid, 2017)

Mohammad Mahmoud Ibrahim at (2017) ได้ศึกษารายละเอียดแปลงฐานที่ยอดของฝายสันคมที่รูปแบบฝายสามเหลี่ยม ฝายสามเหลี่ยมจัตุรัส มักจะใช้ในการวัดอัตราการไหลของการช่องทางน้ำเปิด เป็นวิธีการที่สะดวกและเชื่อถือได้ในการตรวจสอบการจัดสรรทางน้ำ ประกอบไปด้วยฝายที่มีสันฝายเป็นสันคมและแหลมคม ที่รูปแบบฝายรูปสามเหลี่ยม ทั้งสามรูปแบบของฝายรูปสามเหลี่ยมจะทำมุมรอยแยกที่ 90 120 และ 150 องศา ที่แตกต่างกันของส่วนทางแยกที่ด้านบนและมุมรอยแยกของส่วนด้านล่างจะทำมุม 90 องศา ส่วนล่างสามเหลี่ยมของฝายควบคุมช่วงอัตราการไหลปกติ ในขณะที่ส่วนด้านบนวัดกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นบทความนี้จะประเมินส่วนประกอบของร่องทางน้ำในบริเวณที่ทำการทดลอง ฝายสันคมรูปสามเหลี่ยม จะทำการทดลอง 48 ครั้ง 3 แบบของฝายรูปสามเหลี่ยมกับรูปทรงเรขาคณิตที่แตกต่างกัน (การรวมกันที่รอยบาก ของมุม) ของการปล่อยน้ำมี 4 ระดับ, และความสูงของฝายน้ำล้นที่ 3 ระดับ คือ 35 40 และ 41 cm จากทฤษฎีพลังงานและทฤษฎีการวิเคราะห์เชิงมิติถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าการกักต่อน้ำในการปลายน้ำของแบบจำลองฝาย และนำมาพัฒนาสมการขึ้นเพื่อไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดลอง การเปรียบเทียบระหว่างฝายสันคมรูปสามเหลี่ยมและรอยแยกของมุม ซึ่งประกอบด้วยส่วนรูปสามเหลี่ยมสองส่วนที่มีมุมรอยแตกต่างกันที่ยังไม่ค่อยมีใครได้สังเกตและทำการศึกษา การศึกษาแนะนำให้ใช้ฝายรูปสามเหลี่ยมที่มีรอยแยกแบบสองส่วนในทำการทดสอบ เพื่อให้มีอัตราการไหลของน้ำที่เกิดพลังงานของน้ำได้สูง แทนที่จะใช้ฝายสามเหลี่ยมเป็นแบบฝายปกติที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน. (Mohammad, 2017)

Siamak Gharahjeh et al. (2016) การพัฒนาเทคโนโลยีการบันทึกวิดีโอดิจิทัล ช่วยให้เครื่องมือภาพวิดีโอเป็นที่นิยมสำหรับการวัดความเร็วในการไหลของน้ำซึ่งโดยเฉพาะมีความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากความสามารถในการถ่ายทอดโดยธรรมชาติที่ไม่สามารถได้รับซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในสภาพการไหลคลื่อนของการติดตามอนุภาคที่ความเร็วเมตรริก (PIV), และติดตามอนุภาคขนาดใหญ่ความเร็วเมตรริก (LSPTV) จะถูกนำไปใช้กับการไหลแบบอิสระของผิวน้ำ สำหรับการวัดความเร็วของผิวน้ำในท่อ เพื่อวัดความเร็วของจุดเดียวที่ใช้ PTV หรือรูปแบบความเร็วรอบช่องสัญญาณความ

กว้างที่ใช้ PIV บนผิวน้ำในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าความเร็วปกติของเกือบ 1 องศาเซลเซียส เอียงถ่วง สำหรับสภาพการไหลต่างๆ ปัญหาด้านเทคนิคเกี่ยวกับขนาดของอนุภาคและชนิดของการสับคั้น ข้อมูล, การเดินทาง,แสง, การบันทึก, การถ่ายภาพ, การถ่ายภาพและการไหลของข้อมูลที่เกิดขึ้น ข้อมูลจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบ ความปั่นป่วนแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งสามารถคาดการณ์การไหลเวียนทุติยภูมิแบบทุติยภูมิได้การยืนยันการ จับคู่ที่สมเหตุสมผลระหว่างผลการคำนวณและผลการทดลองโดยใช้ความร่วมมือกันของพวกเขา สำหรับการวัดการอัตราการไหลได้รับการรับรองนอกเหนือจากการปล่อยความขรุขระขอบเขตได้รับการ คำนวณว่าเป็นผลมาจากการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์. (Siamak, 2016)

Amir Hossein Zaji et al. (2015) ใช้สำหรับควบคุมการวัดและปรับความลึกของการไหลใน โครงสร้างของของไหล เช่นที่พบในงานชลประทานและระบายน้ำ มีการใช้ตัวการชะลอน้ำในรูปแบบ ต่างๆที่มีรูปทรงตัดแปลงเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต เป้าหมายหลักของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ เพื่อศึกษาค่า สัมประสิทธิ์การอัตราการไหล (C_d) ของทุ่งสามเหลี่ยมล้วนโดยใช้วิธีคำนวณแบบอนุกรมประสิทธิภาพ ของระบบเครือข่ายประสาทพื้นฐานเป็นแนก (RBNN) เปรียบเทียบกับการเพิ่มประสิทธิภาพการจับ กลุ่มอนุภาคแบบไม่เชิงเส้นและแบบหลายเส้น (MNLPPO และ MLPPO) การพัฒนาแบบจำลองจะ ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลการทดลองที่กระทบผับ ข้อมูลการทดลองจากรวมคดี การเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ RBNN, MLPPO และ MNLPPO ที่ได้จากเทคนิคการคำนวณแบบนุ่มเหล่านี้กับข้อมูลการ ทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลทั้งหมดทำงานได้ดี ทำนายค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายกั้น สามเหลี่ยม ข้อเสนอแนะที่แสดงให้เห็นถึงสมการที่ชัดเจนโดยแบบจำลองของ MNLPPO ให้ ความสามารถในการกำลังการผลิตจำหน่ายมีข้อผิดพลาดที่ต่ำกว่า ($RMSE = 0.223$ (เปรียบเทียบกับ วิธีการ MLPPO ($RMSE = 0.0346$) และ RBNN ($RMSE = 0.045$)). (Amir, 2015)

Mohamad Reza Madadi et al (2014) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของความลาดเอียงของต้น น้ำด้านบนของฝายกั้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและรายละเอียด ของผิวน้ำโดยใช้แบบจำลองทางห้องปฏิบัติการ พิจารณารายละเอียดการกระจายตัวของความเร็วและ ความดัน ตำแหน่งของส่วนที่สำคัญเหนือฝายได้ระบุขนาดขอบเขตการไหลของการแยกยังมีการวัด ความลาดเอียงหน้าผาที่แตกต่างกัน ผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการลดความลาดชันของหน้าผาสูง จะช่วยป้องกันการเกิดโซนแยกตัว ผลกระทบของความลาดเอียงหน้าผาของฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ ความกว้างในมิติของเขตแยกการไหล ความยาวของการแยกการไหลได้พล็อตกับความลึกของการไหล รูปแบบไร้มิติ และจะแสดงในรูปที่ 10 ตามรูป และการลดความลาดเอียงหน้าผาจาก 90 เป็น 21 องศา ความยาวสัมพันธ์ของการแยก $L_s = L_{crestPup}$ จะเพิ่มขึ้น ถึง 80% และความสูงของการแยกการ ไหล (h_s/Z) มีความยาวและความสูง L_s h_s จะมีบริเวณแยกตามลำดับ ประมาณ 95% (รูปที่ 3) ที่ ฝายกับ 21 องศา ความลาดเอียงหน้าผา จะทำให้เกิดการแยกของการไหลที่น้อยที่สุด ในกรณีนี้การ

ไหลผ่านลำน้ำไหลผ่านฝายมากขึ้นอย่างสม่ำเสมอและพื้นผิวหน้าและความดันลดลงลดความลาดเอียงหน้าต้นน้ำถึง 21 องศา ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลสูงขึ้น ถึง 10 % และลดระยะเวลาการแยกตัวของการไหลที่ความสูงได้ถึง 80% และ 95% ตามลำดับ. (Mohamad Reza, 2014)

Mohamad Reza Madadi et al (2013) ได้ศึกษาการไหลของกระแสน้ำเหนือทุ่งหญ้ากว้างคือปรากฏการณ์การไหลของช่องทางที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะไฮโดรลิกขนาดบาง แสดงการไหลของพื้นที่ผิวหน้าของฝายจะแปรเปลี่ยนเป็นคลื่นไซน์และจำนวนคลื่นอาจแตกต่างกันไปจาก 1 ใน 10 ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้เงื่อนไขได้ วัดการไหลเวียนของการไหลเวียนเนื่องจากการก่อดำของพื้นที่ผิวเหนือคลื่นสามารถบวกรวมนำที่กับช่องทางปลายน้ำ ในการศึกษานี้ได้ศึกษาผลกระทบของความลาดชันของผิวหน้าต้นน้ำของทุ่งหญ้าที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีต่อการไหลเวียนของกระแสน้ำจากรูปที่ 10-12 รัศมีความโค้งที่มีเพียงเล็กน้อย ไม่มีผลกระทบต่อเกิดการเกิดของพลังงานคลื่นและตำแหน่งของคลื่นในการไหลของน้ำ แต่จริงการเปลี่ยนรูปร่างของมุมของฝายที่น้ำกระทบต่อฝายจากขอบของสันฝายที่เป็นสันคมและยังรัศมีสัมพันธ์กันที่ $(R_u/\Delta Z)$ เท่ากับ 2.01, 3.3, 4.12 และ 5.04 ทำให้เกิดการลดความสูงสัมพัทธ์ของคลื่นลดลงไป เท่ากับ 12.05%, 21.52%, 50% และ 82.28% ตามลำดับ และรูปที่ 11 แสดงความแปรปรวนของความยาวของคลื่นเทียบกับฝายรัศมีสัมพันธ์ เมื่อรัศมีสัมพันธ์ของฝายเพิ่มขึ้นทั้งสองอย่าง X_{min}/L_{crest} และ X_{max}/L_{crest} เพิ่มขึ้นและตำแหน่งของคลื่นถูกย้ายไปที่ปลายน้ำ และยอดคลื่นลดลงที่ฝายที่มีรัศมีความโค้ง เท่ากับถึง 0.126 เมตรเพื่อให้ดูเหมือนว่าจะค่อยๆเพิ่มขึ้นในน้ำความลึกจะเกิดขึ้นและในความเป็นจริง ความสูงและความยาวที่ยาวออกไปทั้งยอดของฝายจะมีคลื่นเพียงเล็กน้อย หลังจากส่วนที่สำคัญที่อยู่ใกล้ขอบต้นน้ำของฝายไหลที่ M_3 ถูกเกิดคลื่นที่เพิ่มขึ้นเหนือยอดของฝาย และที่ M_2 เกิดขึ้นที่ส่วนสุดท้ายของฝาย เห็นได้ชัดว่าเส้นโค้งที่เพิ่มขึ้นที่ต้นน้ำขอบมีลักษณะคล้ายฟู อิทธิพลของความโค้งและมีความลาดบนการไหลเป็นวงกลม พบว่าการกำจัดคลื่นผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อความลาดเอียงของต้นน้ำลดลงจากมุม 90 องศา ถึง 40 องศา ความสูงของคลื่นสัมพัทธ์ลดลงถึง 78% และความยาวของคลื่นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นถึง 55% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคลื่นไม่ได้ที่สร้างขึ้นเหนือฝายกับ 21 องศา หน้าต้นน้ำ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบของรัศมีความโค้งของมุมต้นน้ำที่มีต่อลักษณะคลื่นไม่เป็นลอน การศึกษาครั้งนี้พบว่าความโค้งและความชันมีผลคล้ายกับการกำจัดคลื่น. (Mohamad, 2013)

Farzaneh Nezami et al (2015) ได้ศึกษาสัมประสิทธิ์อัตราการไหลสำหรับฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านข้าง จะมีออกแบบของความยาวของฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า บางครั้งก็จะการออกแบบที่มีความยาวเกินไปเพราะเป็นการประยุกต์ทำฝายสำหรับเป็นจุดสำรวจของนักวิศวกรรม ในระดับที่มีความกว้างลดลงของรางน้ำช่องเปิดก็ต้องการให้ระดับน้ำสูงขึ้น การศึกษาในครั้งนี้จะมุ่งเน้นในการประยุกต์เรขาคณิตรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสำหรับด้านข้างของฝาย สัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะต้องมีการออกแบบในการทดลองที่มีรูปแบบหลายชนิดของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านข้างของฝาย สำหรับ

การศึกษาทดลองจะมีการทดสอบการไหลออกผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่อยู่ด้านข้างของฝาย ในลำดับต่อมาทำให้ได้รับทราบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล หลักสำคัญมิติตัวแปรสำหรับการทดสอบประกอบด้วย ลำธารทางไหลของน้ำ และฝาย ที่มีตัวแปรเฉพาะสัดส่วนของฝาย (F1) w/y , L/B , L'/L , w/L' และขนาดแลนดา (α) ในที่สุดความสัมพันธ์สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลที่ปั่นป่วนสำหรับรูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านข้างของฝายคือการนำเสนอพื้นฐานของมิติพารามิเตอร์ของฝายและการไหลของน้ำที่ดีที่สุด ทั้งหมดของข้อมูลมีค่าเป็นร้อยละผิดพลาดที่ $\pm 10\%$ ข้อมัจจัดความถูกต้องของผลในการศึกษาในครั้งนี้. (Farzaneh, 2015)

Yousef Sangsefid et al (2018) ได้ศึกษาการทดลองของการไหลของอ่างน้ำล้นที่มีเส้นโค้งขึ้นในหลายชั้นของฝาย สำหรับความกว้างของเส้นโค้งของวงกตหลายชั้นของฝายที่เพิ่มขึ้นในยอดความยาวของฝายกับการเพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล ฝายเส้นโค้งเขาวงกตโดยทั่วไปจะออกแบบที่มีองค์ประกอบเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบพื้นที่ได้รับการกระจายในอ่างเก็บน้ำที่มีการประยุกต์ปรับปรุงปรับตัวของวัฏจักรของฝายที่เข้าไกลการไหลที่เพิ่มขึ้นต่อไปที่ยอดของความยาวฝาย เอกสารการศึกษาการทดลองลักษณะของการไหลที่พื้นที่เส้นโค้งเขาวงกตของฝาย การทดลองจะสังเกตการณ์นำเสนออัตราการไหลข้อมัจจัดผลที่เกินขึ้นที่กล่าวถึง และผลกระทบที่อัตราส่วนของระดับของน้ำ (H/P) มุมผนัง (α) มุมของฝาย (θ) ที่ (α) ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (cd) และการตรวจสอบด้วยอย่างมีประสิทธิภาพ ผลแสดงอย่างมีประสิทธิภาพที่ฝายเส้นโค้งเขาวงกตที่สามารถเพิ่มขึ้นเกือบจะ 4.5 ครั้ง ของฝายเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม ผลประโยชน์ที่การเพิ่มขึ้น มุมของฝาย (θ) และลดลงมุมผนัง (α) และ (H/P) มีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่า ในที่สุด วิธีการออกแบบที่นำเสนอสำหรับอ่างเก็บน้ำล้นที่ฝายเส้นโค้งเขาวงกต. (Yousef, 2018)

Vito Ferro et al (2018) ได้ศึกษาการทดสอบทฤษฎีการไหลออกของ Malcherek โดยข้อมูลร่องฝาย เป็นเอกสารเกี่ยวกับกระบวนการไหลของผ่านร่องฝายโดยมีการวิเคราะห์ที่ทฤษฎีการไหลออกของ Malcherek เฉลี่ยความเร็วของการไหลที่ฝายร่องน้ำในเงื่อนไขของฝายที่มีความสูงที่เกินไปและค่าสัมประสิทธิ์ได้มีการเคลื่อนไหวในการรับการแก้ไข ในหลักการตามทฤษฎี ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (7) ประเมินโดยใช้การตรวจวัดน้ำล้นฝาย ได้ค่า $b = 0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$ และ 0.075 เมตร และสามค่าที่แตกต่างกันของความสูงของฝาย ($0.04, 0.08$ และ 0.16 เมตร) รูปที่ 3 แสดงเป็นตัวอย่างสำหรับ $b = 0.005$ เมตร การไหลคู่แบบอิสระที่ความสูงของสันฝาย P หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งเป็นการปลดความสัมพันธ์ (สมการที่ 7) สำหรับความกว้างของฝายที่กำหนด b เป็นอิสระจากฝายความสูงและค่าสัมประสิทธิ์ของ a สามารถประมาณได้โดยใช้ข้อมูลการทดลองทั้งหมดสอดคล้องกับค่า b และความสูงที่แตกต่างกันของฝาย สรุปได้ว่า สูตรระยะของอัตราการไหลมีการวัดขนาดที่ได้รับข้อมูลที่ใช้ในการทดลองสำหรับอัตราส่วนระหว่างฝายกับช่องความกว้างสำหรับ 0.05 ที่ 0.25 สรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระยะของอัตราการไหล ช่วยให้ลักษณะค่า

การวัดอัตราการไหลโดยความผิดพลาดที่ 91% ของค่าของการวัด คำน้อยกว่าหรือเท่ากับ $\pm 5\%$. (Vito, 2018)

Seyyed Mojtaba Azimfar et al (2018) ได้ศึกษาการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของภายใต้อิสระมุมฝายและสภาพการไหลของน้ำด้านล่าง มุมของฝายใช้ในการวัดและเป็นโครงสร้างการควบคุมดูแลของการใช้ประโยชน์คงที่ของฝายและสามารถใช้เป็นสำหรับชั้นน้ำสำหรับระยะทางยาวในแบบยกเครื่องกลของชลประทานเครื่องช่วยการใช้ประโยชน์ ก่อนศึกษาได้มีการแสดงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของส่วนใหญ่เป็นมุมฝายพื้นฐานของผลการทดลองและส่วนน้อยการศึกษาได้มีการใช้ตามทฤษฎีแนวทางที่ประมาณการของค่าสัมประสิทธิ์ ในเอกสารนี้ จะวิเคราะห์สมการที่เสนอการประมาณการค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของมุมฝายและผลเมื่อเปรียบเทียบกับเหล่านั้นแนวทางของการทดลอง เสนอสมการพื้นฐานในการศึกษาในครั้งนี้ของ Bernoulli และสมการโรมเมนตัมสำหรับ ทั้งสองอิสระและเงื่อนไขการไหลที่จมอยู่ในน้ำ การแก้ไขค่าสัมประสิทธิ์ในสมการที่เสนอมีการรับการตัดสินใจใช้ข้อมูลในการทดลอง ผลแสดงความซับซ้อนของสมการที่เสนอไปลดน้อยลง ความถูกต้องของความยาวเมื่อประมาณมุมของฝายผลของค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของก่อนการศึกษานอกจากนี้ สมการเหล่านั้นสามารถใช้ได้ เช่น สมการมาตรฐานเต็มแนวเพราะมันคือตามทฤษฎีพื้นฐาน. (Seyyed, 2018)

Mamok Suprpto at (2013) ได้ทำการศึกษาเรื่องการเพิ่มสมรรถนะการไหลของน้ำที่ใช้กับฝายน้ำล้นแบบเขาวงกต การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่ไม่มีความแน่นอน อาจจะมีฝนตกที่รุนแรง ทำให้เกิดน้ำท่วมหรือเกิดภัยแล้งในหลายพื้นที่ ซึ่งก่อนหน้านั้นเคยเกิดประสบกับภัยพิบัติดังกล่าว ถือว่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่ส่งผลกระทบต่อของปรากฏการณ์เหล่านี้ต่ออ่างเก็บน้ำ เขื่อนหรือฝาย ที่มีการเพิ่มขึ้นของระดับความสูงของผิวน้ำ ซึ่งเป็นสถานการณ์อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งเหล่านี้ จึงมีแนวคิดของการเพิ่มสมรรถนะการไหลของน้ำที่ใช้กับฝายน้ำล้นแบบเขาวงกต เรียกว่า LSCS ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถโดยไม่ต้องลดยอด spillway การไหลของน้ำที่มีอยู่ถือเป็นประเภทของโอจีซึ่งมีอยู่ 6 ชนิดของฝาย LSCS ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ การทดลองได้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการโดยใช้รางน้ำแบบเปิด ต้นแบบโอจี คือ ทำจากไม้และ LSCS และแผ่นอะคริลิก ในระหว่างการทดลองน้ำไหลเข้าของน้ำที่มีการอัตราการไหลที่ต่างกัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความสูงของน้ำเหนือฝาย ของอัตราการไหลของ 6 แบบที่ถูกวัด จากการสังเกตการณ์ได้ดำเนินการทั้งฝายโอจีและฝาย LSCS ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความสามารถของฝาย LSCS มีอัตราการไหลของน้ำมีค่ามากกว่าฝายโอจี อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย LSCS โดยเฉพาะรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู -1 ซึ่งมากกว่าประมาณ 170% ของฝายโอจี ดังนั้น LSCS จึงได้รับการพิจารณาว่ามีคุณค่าเป็นทางเลือกในกรณีของความปลอดภัยของฝาย. (Mamok, 2013)

Ahmed M. El-Belasy at (2018) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสมการสำหรับฝายน้ำล้นและปากทางน้ำเปิด กรณีศึกษา ฝาย EL-Fayoum โครงสร้างของฝายที่ทอ 1 หรือ 2 ส่วนของฝาย หลายพื้นที่ของทุ่งหญ้าพื้นที่ที่มีอยู่ได้ลงพื้นที่ไปศึกษาจากสภาพจริงของฝาย EL-Fayoum ในระหว่างการลงพื้นที่ศึกษา ได้ทำการเก็บข้อมูลในการวัดคุณลักษณะการไหลของน้ำ เช่น อัตราการไหลของน้ำ, ความเร็ว, และระดับของน้ำก่อน และหลังการฟื้นฟูสมรรถภาพของฝาย แล้วทำการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์และใช้เป็นข้อมูลป้อนลงในโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลรุ่น SOBEK สำหรับแบบจำลองนี้ได้รับการสอบเทียบและยืนยันกับข้อมูลภาคสนาม สูตรได้รับการพัฒนาจากการวัดข้อมูล นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาสูตร 2 สูตร ได้แก่ ขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ของแบบจำลองสำหรับท่อระบายน้ำที่มีทอ 1 ส่วน 2 ของทอ สูตรเหล่านี้ได้รับการตรวจสอบเทียบกับสนามวัดสูตรการพัฒนาฝายที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์กำหนดฝายกับขนาดทอ, และการปลดปล่อย สูตรเหล่านี้จะช่วยวิศวกรในการออกแบบการปรับเปลี่ยนที่จำเป็นต่อพัฒนาทุ่งหญ้าที่มีอยู่เพื่อเพิ่มการระบายน้ำ. (Ahmed, 2018)

Güven at (2013) ได้ทำการศึกษาลักษณะของน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำที่พุ่งไหลออกผ่านช่องระบายน้ำ (สี่เหลี่ยม) การทดลองการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อย (C_d) ของการร่วมกันของโครงสร้างที่มีพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ต้นน้ำลำธาร, ความยาวของท่อระบายน้ำ, รูปทอขาเข้า, ท่อระบายน้ำด้านใน, ความสูงยอดฝาย, มุมลาดเอียงฝายและความกว้างของฝาย นำข้อมูลมาวิเคราะห์สำหรับฝายที่สร้างด้วยกระแก้ว แบบที่ 12 ของทุ่งเลี้ยงสัตว์ที่ได้รับการปลูกฝังรวมกันและกล่อง ช่องระบายน้ำที่ถูกผลิตและทำการทดสอบภายในห้องทดลอง ที่มีฝายขนาดขนาด 12 m สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำทำนายสมการได้ของเงื่อนไขที่ไร้มิติ และแสดงผลรวมทั้งหมดของค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d เพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนของความสูงของน้ำเหนือฝายที่ความสูงของสันฝาย h/P เพิ่มขึ้นสำหรับทั้งหมดของแบบที่แต่ละลักษณะของการไหล (ฝายและการผสมผสาน) ผลการศึกษาพบว่าค่า C_d เพิ่มขึ้นเมื่อความของน้ำเหนือฝายเพิ่มสำหรับทั้งหมดของรูปแบบการทดลอง การทดสอบเป็นท่อระบายน้ำไหลเท่านั้น และยังลดลงอย่างช้าๆของมุมระหว่างน้ำเหนือฝายของฝายกับด้านข้างฝาย. (Güven, 2013)

Gharahjeh at (2015) ได้ทำการศึกษาการกำหนดความเร็วของฝายสำหรับฝายรูปสี่เหลี่ยมสันคม อัตราการไหลในช่องน้ำเปิดสามารถวัดได้โดยการทำนายฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสันคม โดยทั่วไปวัดได้ที่ความสูงของน้ำเหนือฝาย ที่จะถูกแทนที่ในสูตรเชิงประจักษ์ที่ได้มาจากการพิจารณาเรื่องพลังงานไปคำนวณอัตราการไหล ข้อสมมติฐานที่ได้จากทำมาจากรากศัพท์นำมาพิจารณาโดยการกำหนด a ค่าสัมประสิทธิ์การอัตราการไหลที่เหมาะสมกับข้อมูลการทดลอง ในการศึกษาปริมาณทางกายภาพเฉลี่ยความเร็วเหนือส่วนฝายที่กำหนดไว้ว่าเป็น 'ความเร็วของฝาย' เป็นสูตรโดยตรงด้านหน้าของฝายที่ของรูปทรงเรขาคณิตและความกว้างของฝาย ความเร็วของฝายพล็อตกับหัวฝายมีพฤติกรรมยอมรับพื้นฐานสากลสำหรับค่าคงที่ความกว้างของหน้าฝายถึงอัตราส่วนความกว้างของ

ช่องที่เป็นอิสระจากขนาดฝาย พฤติกรรมที่ไม่ซ้ำกันนี้ได้อธิบายไว้ในข้อกำหนดของพารามิเตอร์ฝายในการคำนวณการอัตราการไหล โดยไม่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล รวมข้อมูลของฝายที่ความเร็วสำหรับตัวแปรความกว้างของฝายเป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดโดยตรงของอัตราการไหลของน้ำ การความเร็วของน้ำล้นผ่านฝายแสดงให้เห็นการพึ่งพาการทำงานที่ง่ายขึ้นในพารามิเตอร์ของฝายในทางตรงกันข้ามกับค่าสัมประสิทธิ์การอัตราการไหลของน้ำ. (Gharahjeh, 2015)

A. Mehboudi at (2016) ได้ทำการศึกษารวดลองของค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลสำหรับแผนการสำคัญของฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แผนการสำคัญของฝาย (PKW) เป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นในหลายทศวรรษที่ผ่านมา เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของพลังงานน้ำ แม้จะมีการศึกษาอย่างกว้างขวางของชนิดของฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (RPKW) มีเพียงส่วนน้อยที่ทำการวิจัยส่วนของแผนการสำคัญของฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (TPKW) ครั้งนี้ทำการศึกษารวดลองพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของแบบ(TPKW) ที่แตกต่างกันไปตามสภาวะการไหลที่แตกต่างกัน และการตรวจสอบมีผลกระทบของค่าสัมประสิทธิ์การอัตราการไหลของน้ำ C_d ค่าสัมประสิทธิ์การอัตราการไหลของน้ำ พบว่าส่วนใหญ่มีอิทธิพลโดย L/W ขณะที่ W_1/W_0 มีผลน้อยที่สุด สรุปผลการวิจัยพบว่า TPKW มีประสิทธิภาพในการระบายออกสูงขึ้นเปรียบเทียบกับ RPKW นี้เชื่อว่าจะเกี่ยวข้องกับการก่อตัวของ "แทรกแซงลิ้ม" (interference wedge) ผ่านฝาย TPKW สุดท้าย ค่าเชิงปริมาณสำหรับการแยกแยะระบบการไหลสามแบบ เช่น การเปลี่ยนแปลงและระดับการจมน้ำของฝายตลอดจนเกณฑ์การออกแบบของฝาย TPKW. (Mehboudi, 2016)

B.M. Crookston at (2018) ได้ทำการศึกษาวิธีการประมาณค่าไหลเวียนของการไหลแบบอิสระสำหรับรูปทรงเรขาคณิตของฝายรูปทรงเปียโน ในขณะที่มีน้ำท่วมหลายแห่งอยู่ทั่วทุกมุมโลก ทำให้มีความต้องการฟื้นฟูสมรรถภาพเนื่องจากปัญหาด้านความปลอดภัยของฝาย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือในการออกแบบที่เพิ่มความสะดวกในการออกแบบกระจายน้ำลดความเสียหายที่จะเกิดต่อฝาย ด้วยการคิดค้นแบบฝายรูปทรงเปียโน ซึ่งเป็นจุดเน้นของการศึกษาในครั้งนี้ ถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการรั่วซึมและการจ่ายพลังของน้ำ มีวิธีการออกแบบที่ใช้โดยผู้ปฏิบัติงานในการประเมินการระบายน้ำของฝายหรือเขื่อน ได้พบว่า (1) เจริญประจักษ์วิธีการทำนาย เจริญประจักษ์ตั้งแต่ง่าย ๆ จนถึงซับซ้อนและ (2) พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การประเมินนี้รวมถึงหาวิธีการออกแบบเชิงประจักษ์ที่ตีพิมพ์และการจำลอง CFD ที่มีโมเดลความวุ่นวายแตกต่างกันสองแบบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตความแตกต่างเกิน 30 ร้อยละ อยู่ระหว่างวิธีการทำนายและผลการทดลอง นอกจากนี้ผลลัพธ์การอัตราการไหล CFD ยังค่อนข้างเป็นอิสระของแผนการปั่นป่วนวุ่นวายและมีข้อตกลงที่ดีมากกับข้อมูลการทดลอง (ความสัมพันธ์เฉลี่ยประมาณ 3-4%). (Crookston, 2018)

M.Emin Emiroglu (2011) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะอัตราการไหลของฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านในช่องเปิดแบบตรง ขอบกันของฝายที่มีโครงสร้างการควบคุมการไหลที่ใช้ในชลประทานและมีระบบการระบายน้ำและท่อระบายน้ำแบบรวมระบบ จะทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่ครอบคลุมได้ รวมถึงการทดสอบ 843 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าฝายสันคมในช่องทางน้ำที่ตรงได้ดำเนินการในแบบจำลองทางกายภาพขนาดใหญ่ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบ subcritical ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล เป็นหน้าที่ของเลข Froude ของต้นน้ำอัตราส่วนของความยาวของฝายกับความกว้างของช่องทางของฝาย ความยาวของลำน้ำจะไหลลึก และความสูงของเขื่อนจะไหลลึก และสมการได้รับการพัฒนาโดยคำนึงถึงพารามิเตอร์มิติทั้งหมดสำหรับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสันคม ข้อผิดพลาดค่าเฉลี่ยของสมการที่เสนอ คือ 4.54% ข้อมูลการศึกษาในปัจจุบันเปรียบเทียบกับสมการค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่แตกต่างกัน 10 แบบ ที่พัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยหลายคนการศึกษาที่น่าสนใจรายละเอียดพื้นผิวน้ำและความคล่องตัวของพื้นผิวน้ำต่อไป. (Emin, 2011)

Hubert Chanson (2013) ได้ทำการศึกษา การเปรียบเทียบอัตราการไหลไม่คงที่ของฝายรูปแบบสามเหลี่ยมขนาดใหญ่ แผ่นบางแผ่นใช้เป็นเครื่องมือในการวัดค่าความหนาแน่นและช่องให้ความถูกต้องแม่นยำ ช่วยให้สามารถวัดอัตราการไหลได้อย่างแม่นยำด้วยเครื่องมือง่ายๆ สูตรการเปรียบเทียบของอุปกรณ์ดังกล่าวอาศัยค่าสัมประสิทธิ์เชิงประจักษ์บางอย่างและมีความจำเป็นที่จะต้องได้ข้อมูลทางกายภาพใหม่ที่ต้องการเพื่อเสริมความแม่นยำของหลักฐานที่มีอยู่ ในการศึกษาในครั้งนี้มีการเปรียบเทียบการไหลเวียนของฝายแผ่นบางที่มีรูปสามเหลี่ยม ที่ทำมุมพื้นหน้าตัด 90 องศา ได้ดำเนินการโดยใช้ปริมาณของน้ำที่ไม่สม่ำเสมอต่อการจัดเวลาทำการปิดฝายรูปสามเหลี่ยม และทำการเปิดประตูอย่างรวดเร็ว การเปิดฉับพลันทำให้เกิดระยะเริ่มแรกของการเคลื่อนที่ของน้ำที่เด่นชัด การเคลื่อนไหวที่ตกลงมาของปริมาณของของเหลวในบริเวณใกล้เคียงของหน้าฝายอย่างรวดเร็วและน้ำที่อยู่ไกลฝายค่อยๆเคลื่อนที่ไหลออกที่มีการตกลงที่แตกต่างกัน ในระหว่างที่ดึงเปิดหน้าฝาย ซึ่งได้รับการปฏิบัติการเปิดฝายด้านข้างถึงเก็บน้ำ และจะมีความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยน้ำกับระดับน้ำที่สูงขึ้นมาจากรูปแบบที่สมบูรณ์ของสมการความต่อเนื่อง ผลการค้นหาค่าสัมประสิทธิ์การอัตราการไหลที่ใกล้เคียงกับการทดลองก่อนหน้านี้ สำหรับฝายรูปสามเหลี่ยม ที่ทำมุม 90 องศา จากผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบการไหลเวียนของฝายรูปสามเหลี่ยม ที่ไม่มีความเสถียรออกไปคล้ายคลึงกัน ผลเป็นวิธีการเปรียบเทียบแบบดั้งเดิมมากขึ้นตามการทดลองการไหลคงที่ช่วยให้การทดสอบในช่วงความกว้างของอัตราการไหลได้อย่างรวดเร็ว. (Hubert, 2013)

M. Bijankhan at (2017) ได้ทำการศึกษาสูตรค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลแบบอิสระและแบบจมน้ำสำหรับรูปสามเหลี่ยมของเขาวงกต การไหลฝายเขาวงกตรูปแบบสามเหลี่ยม ที่มีการไหลแบบอิสระและเงื่อนไขในการทดลองที่การไหลแบบฝายจมน้ำและตามเหตุผล การศึกษาเงื่อนไขที่มี

การไหลแบบอิสระจะใช้ข้อมูลชุดใหม่ที่ได้จากการทดลองที่เป็นเงื่อนไขในการศึกษาในครั้งนี้ และสำหรับเงื่อนไขของการไหลแบบจมน้ำ โดยการเริ่มต้นระหว่างการไหลแบบอิสระและการไหลแบบจมน้ำด้วยการเป็นขอบเขตที่ใช้ในการศึกษาโดยจากทดลอง จากนั้นการวิเคราะห์ของ Buckingham คือ เพื่อตรวจสอบสูตรการจมน้ำของการไหลผ่านบางของฝายรูปสามเหลี่ยมที่เป็นแผนเขาวงกต สุดท้ายนี้เสนอขั้นตอนของวิธีการเปรียบเทียบที่จะหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลแบบรวม และเสนอค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลสามารถใช้สำหรับการไหลแบบอิสระและการไหลจมน้ำ ที่สภาพอย่างต่อเนื่องและภายในเขตการเปลี่ยนแปลง. (Bijankhan, 2017)

A. Burcu Altan-Sakarya at (2013) ได้ทำการศึกษา การคำนวณการอัตราการไหลเพื่อไหลผ่านหน้าตัดของฝายน้ำล้นด้านบนและด้านล่าง (H-weirs) การไหลผ่านฝายน้ำล้นด้านบนและหน้าตัดด้านล่างสำหรับสภาพการไหลแบบอัตโนมัติจะถูกตรวจสอบด้วยการทดลอง และการรวมกันของเงื่อนไขรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสันคมและหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมเป็นการวัดการไหลโครงสร้างที่ชื่อว่า H-weirs และฝาย H-weirs ถูกกำหนดโดยความกว้างและช่องหน้าตัดเปิดที่มีความสูงกว้างและระยะห่างแนวตั้งระหว่างด้านล่างของฝายและด้านบนของหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม การทดลองในห้องปฏิบัติการดำเนินการโดยการวัดปริมาณการไหลของน้ำและความลึกของน้ำที่ต้นน้ำสำหรับ H-weirs ที่แตกต่างกัน การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาปริมาณการไหลของน้ำ H เพียงแค่อ่านความลึกของน้ำที่ต้นน้ำของโครงสร้างที่รวมกัน สูตรต่างๆมีความสอดคล้องของความลึกของการปล่อยน้ำของความสัมพันธ์จะถูกตรวจสอบโดยใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลและสร้างสูตรใหม่ ทั้งสองสูตรจะได้รับการนำเสนอขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ หลังจากได้รับและเปรียบเทียบข้อผิดพลาดร้อยละของสมการแต่ละข้อสรุปได้ว่าสมการใหม่ที่เสนออาจเป็นไปได้ใช้ทำนายการปล่อยผ่านฝาย H-weirs ได้อย่างแม่นยำภายในช่วงที่กำหนดการศึกษาของการทดลอง. (Burcu, 2013)

Saeid Shabanlou at (2013) ได้ทำการศึกษาการศึกษาคุณสมบัติทางไฮดรอลิกของยอดฝายทรงกระบอก ตั้งแต่รูปทรงกระบอกและยอดเส้นโค้งของฝายมีความเรียบง่ายและเปรียบเทียบกับฝายอื่นๆ และสามารถใช้ในการวัดความเร็วของการไหล อัตราการไหลของน้ำและสามารถควบคุมโครงสร้างพื้นผิวของน้ำในคลองและอ่างเก็บน้ำ ในเอกสารนี้ คุณสมบัติของของเหลวที่ฝายรูปทรงกระบอกและยอดเส้นโค้ง อาทิเช่น ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ความลึกบนยอดของฝายและพลังงานการสูญเสีย ในการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มี รูปแบบ 18 แบ่งออกเป็น ประเภท 5 ที่ได้รับการตรวจสอบมาแล้ว ผลของการทดลองชี้ให้เห็นว่าทั้งทรงกระบอกและยอดเส้นโค้งของฝายโดยการเพิ่มจำนวนทั้งหมด ในบางส่วนของหัวข้อ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลเพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงความสูงของผนังต้นน้ำไม่มีผลค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ดังนั้นพลังงานการสูญเสียในบางส่วนเกิดขึ้นมากขึ้นที่ฝายรูปทรงกระบอกและการสูญเสียน้อยกว่าของรูปทรงกระบอกครึ่งรูปและโดยการเพิ่มมุมเอียงลาด การสูญเสียพลังงานบางส่วนเพิ่มขึ้นในภายหลัง ความลึกการไหลบางส่วนบน

ยอดของทั้งสองรูปทรงกระบอกและรูปครึ่งหนึ่งรูปทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 0.7 โดยเพิ่มขึ้นของมุมเอียงมุมต้นน้ำ การไหลในบางส่วนความลึกพื้นผิวที่ค่ามากกว่า 0.6 และการเปลี่ยนแปลงมุมและความลึกของการไหลของบางส่วนไม่มีผลต่อการสร้างแบบผาย. (Saeid, 2013)

S. Bagheri at (2014) ได้ทำการศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่ด้านของผายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสันคม ตอนที่ 2 โดยใช้วิธีการ Dominguez's การออกแบบของของเหลวที่ด้านข้างของผายที่มีความซับซ้อน เนื่องจากสภาพการไหลของน้ำตามธรรมชาติแปรผันตามระยะทางของผายทำให้เกิดการไหลผ่านด้านข้างแบบ 3-D ของผาย ดังนั้นโดยการพิจารณาการใช้สูตรการไหลเวียนของ De Marchi's (ตอนที่ 1) การศึกษาในปัจจุบันเป็นการตรวจสอบวิธีการที่เสนอโดยใช้วิธีการของ Domingue's สำหรับประเมินการระบายน้ำเหนือผายภายใต้สภาวะการไหลแบบวิกฤติเพิ่มเติมบนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมของข้อมูลการทดลองที่มีอยู่ประโยชน์ของการปฏิบัติการใช้วิธี Dominguez's ได้รับการประเมิน ผลการศึกษาพบว่าพื้นฐานสมมุติฐานของ Dominguez's เช่น พลังงานจำเพาะที่คงที่และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตรงอิสระด้านข้างของผายในช่องสัญญาณหลักช่องทางมีความพึงพอใจอย่างเหมาะสม สุดท้าย การวิเคราะห์บนพื้นฐานของมิติมีความสัมพันธ์ใหม่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของ Dominguez's ด้วยเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญที่สุด ผลการประเมินดีกว่าผลการทดลองแบบจำลอง. (Bagheri, 2014)

Petra Van Daal-Rombouts at (2017) ได้ทำการศึกษา การตรวจสอบความถูกต้องของพลวัตของไหลในการคำนวณการไหลเวียนของของเหลวความสัมพันธ์กับแบบจำลองการทดลองและการวัดต้นแบบ ผายเป็นโครงสร้างที่สำคัญในระบบท่อน้ำทิ้ง ต้องมีความรู้ความชำนาญในเรื่องสมรรถนะของของเหลว ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ความสัมพันธ์ที่อัตราการไหลออกมาได้อย่างน่าเชื่อถือ สำหรับต้นกำเนิดที่มีรูปทรงเรขาคณิตของช่องการระบายน้ำ จำกัด และการไหลที่อัตราการไหลออกมา ที่มีการรวมกันถูกตรวจสอบของการวัดภาคสนามที่เป็นหลักสำคัญสำหรับการระบายน้ำล้นออกมาแบบผสมรวมทั้งการทดลองในชุดการทดลองแบบจำลอง CFD สำหรับรูปแบบขนาดและต้นแบบที่มีอยู่ ในแบบจำลอง CFD ไม่มีความรู้เดิมเกี่ยวกับพฤติกรรมของไหลของการตรวจสอบการประยุกต์ใช้ CFD สำหรับทั้งสองวิชาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า 1) การจำลอง CFD ไม่ได้ยืนยันสามารถอธิบายได้พฤติกรรมไฮดรอลิกที่ซับซ้อนที่เกิดขึ้นในห้องทดลองรวมถึงการเปลี่ยนแปลงระบอบการไหล 2) แตกต่างกันความสัมพันธ์ในอัตราการไหลเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสภาวะการไหลที่แตกต่างกัน 3) CFD ที่ไม่ได้รับการยืนยันสามารถใช้งานได้อัตราการไหลของความสัมพันธ์ในระบอบการไหลของการรบกวนที่มีผลต่อการเกิดน้ำล้น แต่ยังไม่มียุคค่าเพิ่มมากกว่าสมการเวียร์มาตฐานในระบอบการปกครองที่ไม่ถูกรบกวนและ 4) CFD ที่ไม่ได้รับการรับรองสามารถนำมาใช้เพื่อกำหนดตำแหน่ง

เซนเซอร์ที่ดีที่สุด การศึกษาครั้งนี้มีการสนับสนุนเชิงปริมาณสำหรับสิ่งตีพิมพ์ก่อนหน้านี้โดยอิงจากข้อมูลที่ไม่ได้รับการประเมินผล. (Petra, 2017)

Maha R. Fahmy at (2015) ได้ทำการศึกษา ผลกระทบของการสะสมตะกอนต่อประสิทธิภาพของฝาย Fayoum ฝายเป็นหนึ่งในโครงสร้างที่มีหน้าที่หลักของชลประทานทางน้ำ ถูกสร้างขึ้นเพื่อควบคุมการไหลของทางน้ำ ทำให้เกิดการปล่อยน้ำล้นออกมาและการเกิดตะกอนสะสมของฝาย ทำให้เกิดการเพิ่มของตกตะกอนเพิ่มขึ้นจากต้นน้ำ เพื่อลดความเร็วในโซนของเส้นโค้งของด้านล่างและการไหลจะไหลผ่านยอดของฝาย วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลกระทบของความลึกและความยาวของตะกอนดินในช่วงต้นของฝาย เกี่ยวกับลักษณะการไหลและประสิทธิภาพของฝาย วิธีการวิจัย ได้แก่ การทดลอง การศึกษาเชิงทฤษฎีและสถิติ ความลึกของการตกตะกอนได้รับ 25%, 50%, 75% และ 100% ของความสูงของเขื่อนและความยาวของการตกตะกอนได้รับจากข้อมูล 50%, 100%, 150%, 200% และ 250% ของฝายความสูง ทุกแบบทดสอบด้วยความลาดเอียงของช่องทางต่างๆ 0: 0, 1: 500, 1: 250, 1: 200 และ 1: 150 ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d เพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของ H/P เพิ่มขึ้น สำหรับไม่มีตะกอนและสำหรับต้นน้ำที่แตกต่างกัน ความลึกของตะกอน ความสัมพันธ์ระยะอัตราการไหลใหม่ได้รับการพัฒนาสำหรับกรณีของตะกอนและไม่มีตะกอนของต้นน้ำฝาย Fayoum นอกจากนี้ยังมีสมการสำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลในกรณีของฝาย Fayoum. (Maha, 2015)

Han Hu at (2018) ได้ทำการศึกษา การศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับลักษณะและความสามารถในการกระจายของฝายรูปแบบคีย์เปียโน มีการตรวจสอบตัวเลขอย่างละเอียดเพื่อทำความเข้าใจรูปแบบการไหลของฝายรูปแบบคีย์เปียโน (PKW) สำหรับต้นน้ำที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปแบบปริมาตรของช่องไหล ผลของการจำลองเชิงตัวเลข แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของยอดด้านข้างถูกจำกัด ด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้ การเปลี่ยนแปลงของการไหลของด้านข้าง ทิศทางที่เกิดจากผลของความเร็วในการไหลตามยาวตามทางเข้าในระบบการไหลของน้ำล้นในเต้าเสียบ การแทรกแซงระหว่างแบบชั่วคราวและการสูญเสียอัตราการไหลที่ช่องฝาย PKW ทางเข้าภายใต้เงื่อนไขของความสูงปลายน้ำ ซึ่งในที่สุดจะนำไปสู่การลดลงของประสิทธิภาพอัตราการไหลที่มีการเพิ่มขึ้นในต้นน้ำ การวิเคราะห์แบบมูมดาก พบว่า ความสูงของความสูงของเฟิร์นแวร์ ความกว้างของแกนช่องทางเข้าต่อทางออกมีผลต่อค่าสมรรถนะการอัตราการไหลของฝายรูปแบบของคีย์เปียโน สมการใหม่ที่มีความสำคัญทางกายภาพที่ชัดเจนและมีความแม่นยำสูง สำหรับอัตราการไหลการของฝายรูปแบบของคีย์เปียโน PKW ที่ได้ยอมรับแล้วและได้รับการตรวจสอบซึ่งช่วยเพิ่มความถูกต้องของการออกแบบและการเพิ่มประสิทธิภาพโครงสร้างของฝายรูปแบบของคีย์เปียโน. (Han, 2018)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาการประเมินสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงานของน้ำที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา โดยมีรูปแบบของฝายน้ำล้น 3 รูปแบบ โดยทำการศึกษาคูณลักษณะการไหลของฝาย ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำและค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย ซึ่งจะทำการศึกษาอิทธิพลของความสูงของสันฝาย ความกว้างของสันฝาย มุมหน้าตัดของฝาย และความหนาของสันฝาย ตลอดจนการวิเคราะห์ผลค่าพลังงานของน้ำ จะทำการทดสอบที่อุโมงค์น้ำแบบเปิด ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิทยานิพนธ์เบื้องต้น

ทำการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง วิธีการในการออกแบบ เพื่อสร้างชุดฝายที่ใช้สำหรับชุดการทดลอง วิธีการทดลองและการตรวจวัดค่าต่างๆ เพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2 วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงาน

3.2.1 อุโมงค์น้ำและส่วนประกอบต่างๆ

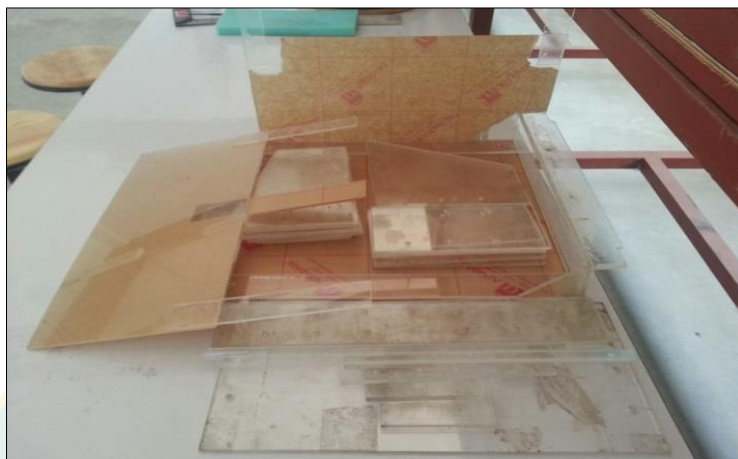
อุโมงค์น้ำจำลองที่ติดตั้งที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นลักษณะอุโมงค์น้ำแบบเปิด (Open Flow Water Tunnel) โดยใช้วัสดุชนิดอะคริลิกหนา 5 mm ประกอบเป็นรางน้ำขนาดทางน้ำกว้าง 40 cm สูง 40 cm และยาว 480 cm ลักษณะของอุโมงค์น้ำแบบเปิดซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ โครงร่างของฐานชุดอุโมงค์น้ำแบบเปิด รางน้ำไหล ถังเก็บน้ำ ท่อส่งน้ำ เครื่องปั้มน้ำ วาล์วควบคุมการไหลของน้ำ ริงผึ้ง และชุดฝายน้ำล้นที่ใช้ในการทดสอบ แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 อุโมงค์น้ำแบบเปิด (Open Flow Water Tunnel)

3.2.2 วัสดุใช้ในการสร้างฝายน้ำล้น

ในการสร้างฝายใช้วัสดุการสร้างฝายด้วยแผ่นอะคริลิก ขนาด 5 mm ฝายขนาดความกว้าง 0.39 m ความสูงของฝาย 0.40 m แสดงดังภาพที่ 29



ภาพที่ 26 แผ่นอะคริลิก ขนาด 5 mm

3.2.3 เครื่องมือใช้ในการทดสอบ

นาฬิกาจับเวลา ใช้ในการจับเวลาในการทดสอบ โดยกำหนดระดับของน้ำเพิ่มขึ้นในถังเก็บน้ำ 10 cm และจะจับเวลาว่าได้กี่วินาที แล้วบันทึก แสดงดังภาพที่ 27

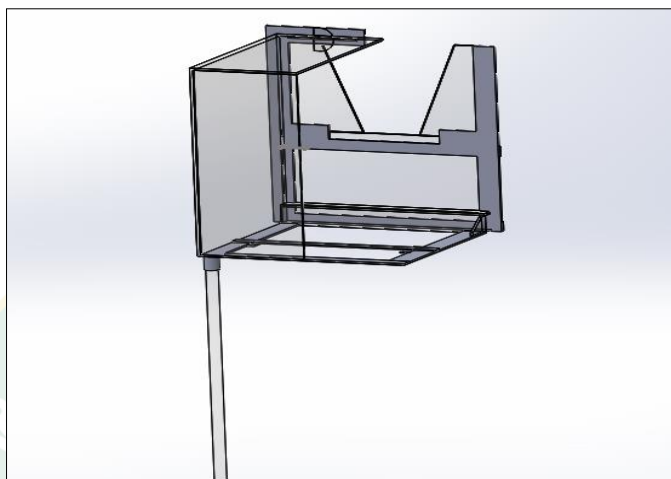


ภาพที่ 27 นาฬิกาจับเวลา

3.2.4 ชุดการทดสอบฝายน้ำล้น

เป็นการออกแบบของฝายน้ำล้นแบบสามารถถอดออกและประกอบได้ แสดงดังภาพที่ 28 มีการแบ่งสองส่วน ฝายส่วนล่างเป็นความสูงของฝาย (P) ส่วนด้านบนเป็นรูปแบบฝายที่แตกต่างเพื่อทำ

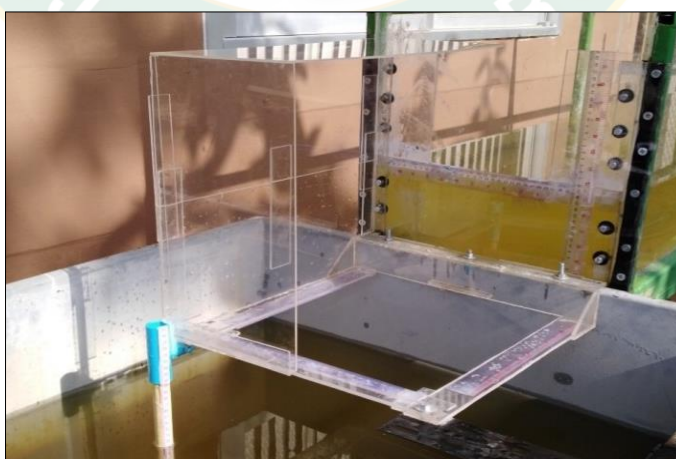
การทดลอง ฝายรูปสี่เหลี่ยม ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฝายรูปสามเหลี่ยม และชุดการทดสอบจะติดประกอบสเกลวัดค่าต่างของการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้น ประกอบด้วยสเกลวัดระดับน้ำในถัง (h_T) สเกลวัดความกว้างของฝาย (b) สเกลวัดความสูงของน้ำเหนือฝาย (h) สเกลวัดระยะจุดตกของน้ำ (x) สเกลวัดความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก(N) เพื่อนำค่าไปคำนวณในขั้นต่อไป



ภาพที่ 28 ชุดการทดสอบฝายน้ำล้น

ลักษณะสเกลวัดที่ติดตั้งกับชุดการทดสอบของฝาย

ขนาดต่างๆของฝายที่สร้างประกอบร่วมกับชุดการทดสอบของฝายน้ำล้น และจะมีแผ่นประกอบเป็นกล่องครึ่งหนึ่งของฝาย เพื่อป้องกันลมพัดที่ส่งผลต่อรูปลักษณะและระยะจุดตกของน้ำล้นฝาย และมีสเกลวัดค่าต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 29 ถึง 34



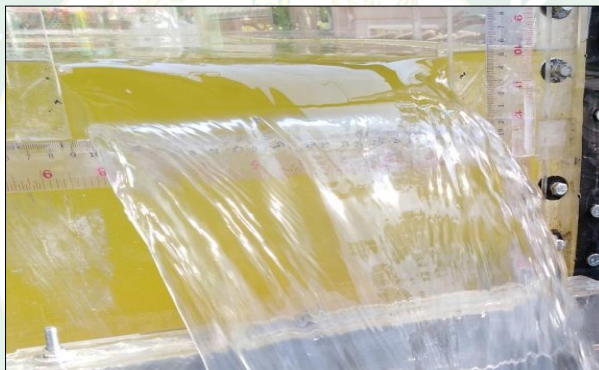
ภาพที่ 29 แสดงชุดการทดสอบของฝายน้ำล้น

- สเกลวัดระดับน้ำในถัง (h_T)



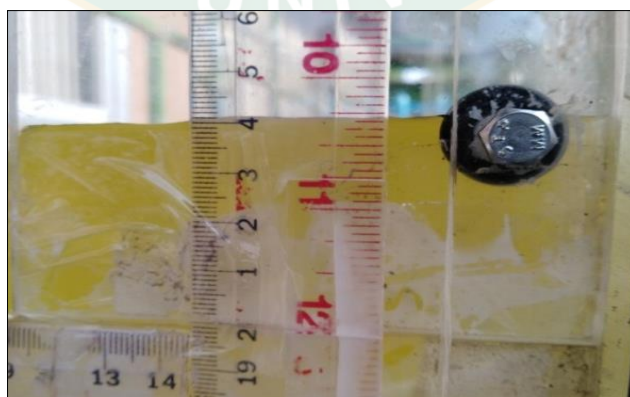
ภาพที่ 30 แสดงสเกลวัดระดับน้ำในถัง (h_T)

- สเกลวัดความกว้างของฝาย (b)



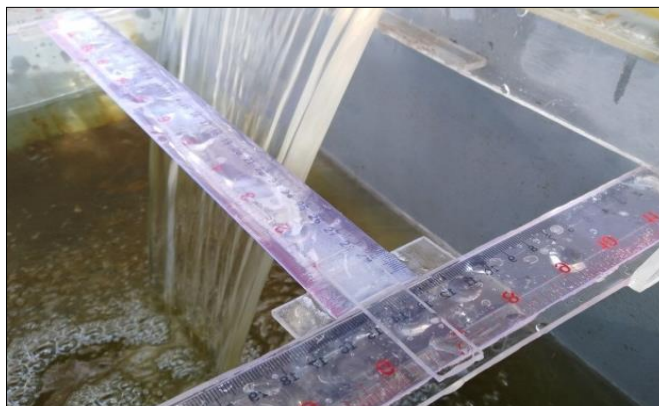
ภาพที่ 31 แสดงสเกลวัดความกว้างของฝาย (b)

- สเกลวัดความสูงของน้ำเหนือฝาย (h)



ภาพที่ 32 แสดงสเกลวัดความสูงของน้ำเหนือฝาย (h)

- สเกลวัดระยะจุดตกของน้ำ (x)



ภาพที่ 33 แสดงสเกลวัดระยะจุดตกของน้ำ (x)

- สเกลวัดความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก (N)

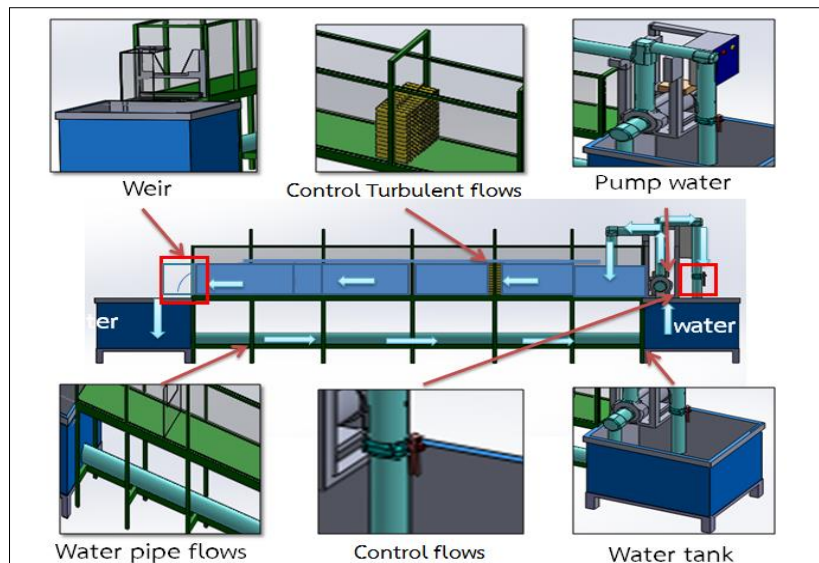


ภาพที่ 34 แสดงสเกลวัดความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก (N)

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

3.3.1 ข้อมูลที่เก็บจากการทดสอบ

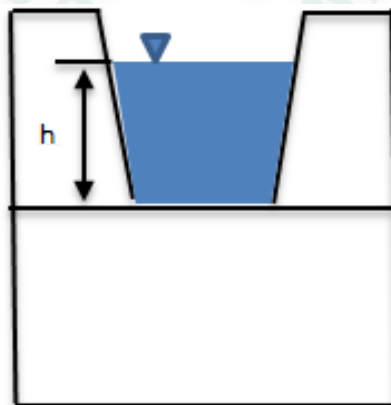
ทำการเก็บข้อมูล โดยการทำการทดสอบและวัดค่าลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูและฝายรูปสามเหลี่ยม ในรูปแบบต่างๆ ประกอบด้วยด้านหน้าของอุโมงค์น้ำ การเริ่มการทดสอบ โดยเติมน้ำในถังด้านหน้า และด้านหลังให้เต็ม แล้วเปิดปั๊มสูบน้ำที่อยู่ด้านหลัง นำเข้าสู่รางน้ำไหล ผ่านรังผึ้งที่กั้นทางน้ำเพื่อทำให้น้ำเคลื่อนที่แบบราบเรียบ แล้วผ่านฝายน้ำล้นของสู่ถังเก็บน้ำด้านหน้า น้ำในถังด้านหน้าก็จะปล่อยไปทางท่อที่เชื่อมต่อกันอยู่ระหว่างสองถัง และก็จะเก็บค่าการทดสอบที่ฝายอยู่ด้านหน้าของอุโมงค์น้ำ ดังแสดงในภาพที่ 35



ภาพที่ 35 แสดงการทำงานของอุโมงค์น้ำไหลแบบเปิด

3.3.1.1 ความสูงของน้ำเหนือฝาย

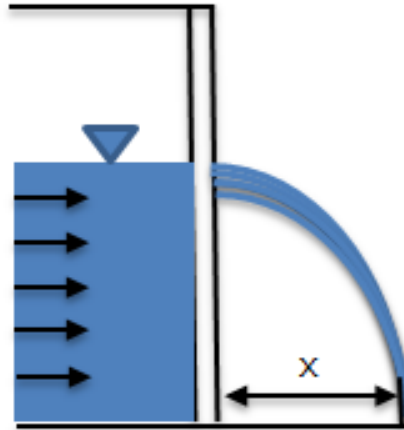
ทำการวัดความสูงของน้ำเหนือฝาย (h) โดยวัดจากพื้นสุดของหน้าตัดฝายที่จุดระยะ 0 m ถึงระยะพื้นผิวของน้ำ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 การวัดความสูงของน้ำเหนือฝาย มุมมองด้านหน้าของฝาย

3.3.1.2 ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย

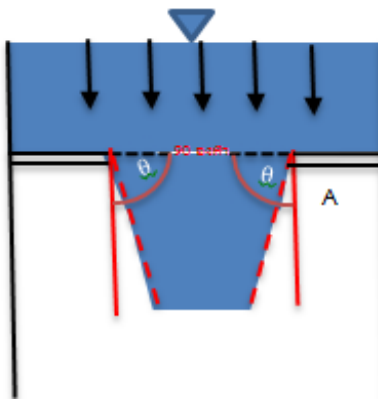
ทำการวัดระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย (x) โดยวัดจากระยะฝายถึงระยะจุดกึ่งกลางที่น้ำผ่านฝายไหลตกลงมา แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 การวัดระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย มุมมองด้านข้างของฝาย

3.3.1.3 องศาการบีบอัดการตกของน้ำ

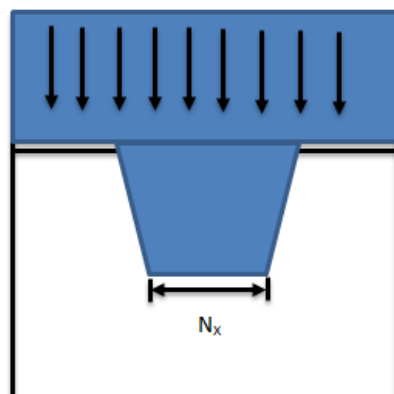
ทำการวัดองศาการบีบอัดการตกของน้ำ โดยวัดจากระยะที่น้ำผ่านฝายตั้งแต่หลังฝายเป็นระยะการบีบอัดที่น้ำไหลผ่านฝาย แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 การวัดองศาการบีบอัดการตกของน้ำ มุมมองจากด้านบน

3.3.1.4 ความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก (N_x)

เป็นการวัดเก็บข้อมูลความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก (N_x) แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 39

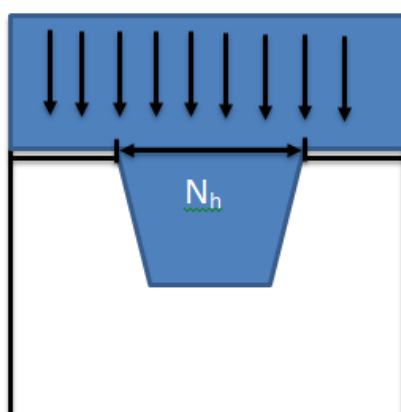


ภาพที่ 39 ความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก (N_x)

3.3.1.5 ความกว้างของน้ำล้นที่ระดับน้ำเหนือฝาย (N_h)

เป็นการวัดเก็บข้อมูลความกว้างของน้ำล้นที่ระดับน้ำเหนือฝาย (N_h) แสดงตัวอย่าง

ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 ความกว้างของน้ำล้นที่ระดับน้ำเหนือฝาย (N_h)

3.3.1.6 ค่าการจัดเวลาในการทดสอบ (t)

เป็นที่มีการจัดเวลาด้วยนาฬิกาขณะทำการทดสอบในแต่ละครั้งตลอดที่ทำการทดสอบของรูปแบบของฝาย เพื่อจะนำค่าไปคำนวณในลำดับต่อไป

3.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.3.2.1. การทดสอบ

- ทำการทดสอบทุกรูปแบบของฝาย ทุกค่าที่คุณสมบัติของอัตราการไหล Q ที่ 5 ค่า (%การปล่อยน้ำ) และทดสอบ 3 ครั้ง ในแต่ละอัตราการไหลของน้ำ

3.3.2.2. การวิเคราะห์ผล

- ทำการเฉลี่ยข้อมูลที่จัดบันทึกไว้ลงในโปรแกรม Excel เพื่อทำการวิเคราะห์ เฉลี่ยของค่าการทดสอบใน 3 ครั้ง ให้ได้ค่าที่เป็นกลางของค่าเฉลี่ย 1 ค่า
- นำค่าเฉลี่ยมาวิเคราะห์หาค่าอัตราการไหลของน้ำ เพื่อได้ค่าอัตราการไหล Q จากการทดลองของทุกรูปแบบฝาย ทำการกำหนด ระดับความสูงของน้ำ 10 cm แล้วทำการจับเวลา (t) ได้มีการใช้เวลาไปนานเท่าไร

โดยหาได้จากสมการ

$$Q_{\text{experiment}} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำ}}{\text{เวลา}}$$

$$Q_{\text{experiment}} = \frac{\text{กว้าง} \times \text{สูง} \times \text{ยาว}}{\text{เวลา}} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad \text{สมการที่ 13}$$

- นำค่าที่ทำการทดสอบมาวิเคราะห์อัตราการไหลจากทฤษฎี โดยใช้สมการการหาอัตราการไหลของฝายแต่ละรูปแบบ ฝายรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ใช้สมการที่ (3) ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ใช้สมการที่ (5) และฝายรูปสามเหลี่ยม ใช้สมการที่ (6)
- วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลจากการทดลอง $Q_{\text{experiment}}$ กับอัตราการไหลคำนวณจากทฤษฎี $Q_{\text{theoretical}}$ เป็นวิธีการที่สอดคล้องกับการทดลองกรณีของ Mohammad Mahmoud Ibrahim (Mohammad, 2017)

โดยหาได้จากสมการ

$$C_d = \frac{Q_{\text{experiment}}}{Q_{\text{theoretical}}} \quad \text{สมการที่ 14}$$

- วิเคราะห์ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย โดยใช้สมการพลังงานจลน์ ที่ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่นของน้ำ โดยใช้ค่าความหนาแน่นของน้ำคงที่ตลอดการทดสอบ เท่ากับ ρ เท่ากับ 998 kg/m^3 สามารถใช้สมการที่ (10)

3.3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.3.3.1 ศึกษาอิทธิพลของความสูงของสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

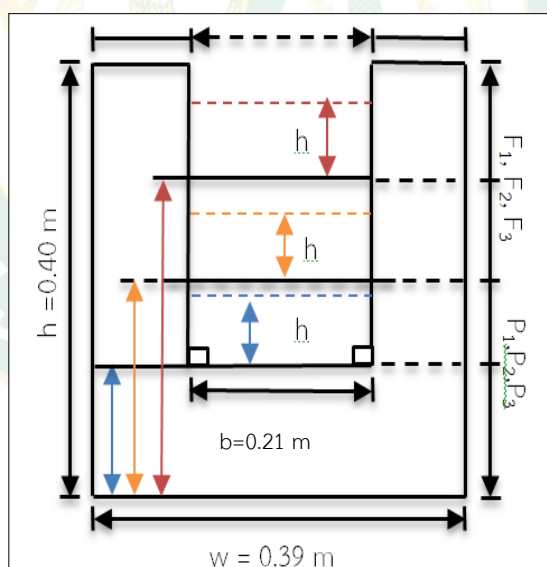
ทำการทดสอบคุณลักษณะของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า โดยมีความสูงของสันฝายที่ต่างกัน 3 ระดับ ฝายรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้าที่ความสูงสันฝาย P เท่ากับ 0.10 0.20 และ 0.30 m

วิธีการดำเนินงาน

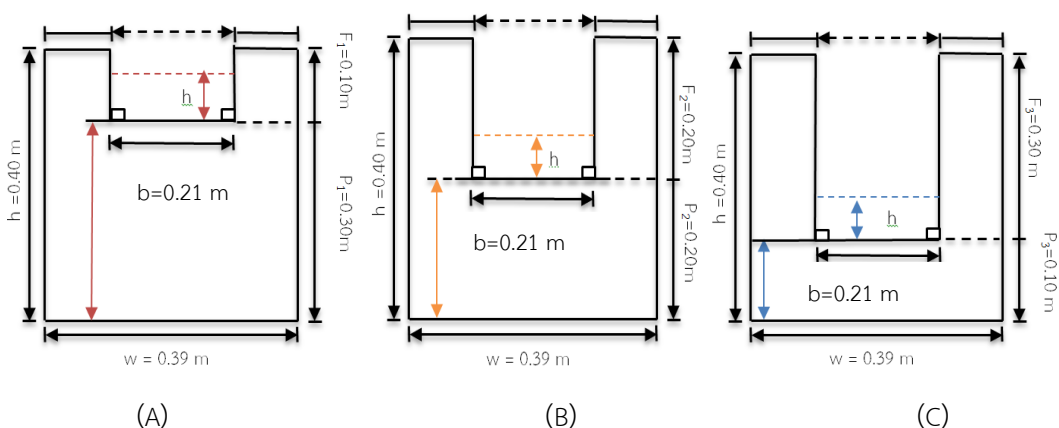
1. ออกแบบและสร้างฝายน้ำล้นรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 3 และ ภาพที่ 41 ถึง 42

ตารางที่ 3 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของฝายน้ำล้นที่ความสูงสันฝายต่างกัน

คำอธิบายและสัญลักษณ์	ขนาดและหน่วย
ความกว้างของฝายที่ต่ำ (W_L)	0.39 m
ความสูงของฝาย (H)	0.40 m
ความสูงของสันฝาย (p)	0.10 0.20 0.30 m
ความสูงเหนือสันฝาย (F)	0.30 0.20 0.10 m
ความกว้างของฝายที่ต่ำ (W_H) ทั้ง 2 ข้าง	0.10 m
ความกว้างของสันฝายที่ต่ำ (b_L)	0.19 m



ภาพที่ 41 แสดงลักษณะความสูงของสันฝายรวมที่ P ต่างกัน



ภาพที่ 42 แสดงลักษณะความสูงของสันฝายน้ำล้นที่ P ที่ A เท่ากับ 0.30 m B เท่ากับ 0.20 m และ C เท่ากับ 0.10 m

2. ขั้นตอนนำไปทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล เพื่อมาวิเคราะห์ผลของการทดสอบว่า อิทธิพลของความสูงสันฝายรูปสี่เหลี่ยมที่ P ไດ ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายของค่าที่ดีที่สุด เพื่อเป็นต้นแบบของความสูงของฝายในการสร้างชุดทดสอบในขั้นตอนต่อไป

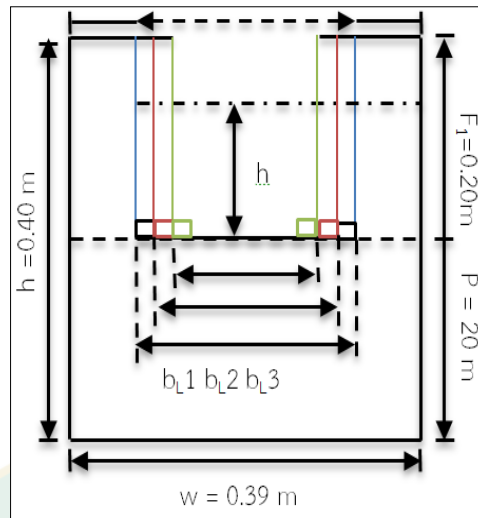
3. การประเมินพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝายที่ความสูงของสันฝาย P_1 - P_3 การศึกษาการประเมินอิทธิพลของพลังงานของน้ำที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนาคจะเป็นการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในเรื่องของพลังงานของน้ำ โดยจะมีความสูงของสันฝายที่ P เท่ากับ 0.10 0.20 และ 0.30 m โดยใช้สมการที่ 10 และนำข้อมูลผ่านการวิเคราะห์จากสมการมาสร้างกราฟเพื่อสังเกตอิทธิพลของพลังงานของน้ำที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา

3.3.3.2 ศึกษาอิทธิพลของความกว้างของสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

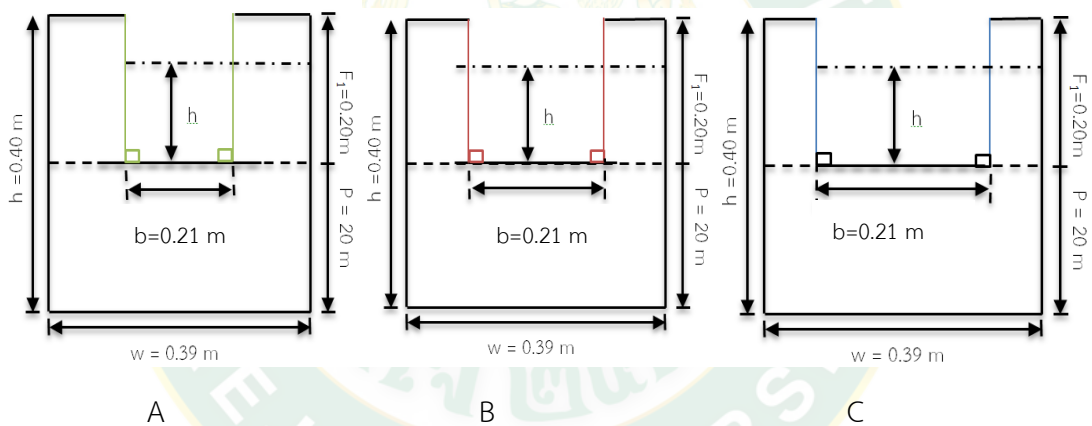
ทำการทดสอบคุณลักษณะของน้ำผ่านฝาย ที่ความกว้างของสันฝาย (b) ที่ต่างกัน 3 ค่า ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4 โดยมีวิธีการดำเนินงาน ตามขั้นตอนในข้อที่ 1 ถึง 3 (หัวข้อที่ 3.3.3.1)

ตารางที่ 4 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของฝายน้ำล้นที่ความกว้างสันฝายต่างกัน

คำอธิบายและสัญลักษณ์	ขนาดและหน่วย
ความกว้างของฝายที่ต่ำ (W_L)	0.39 m
ความสูงของฝาย (H)	0.40 m
ความสูงของสันฝาย (p)	0.20 m
ความสูงเหนือสันฝาย (F)	0.20 m
ความกว้างของฝายที่ต่ำ (W_H) ทั้ง 2 ข้าง	0.10 m
ความกว้างของสันฝายที่ต่ำ (b_L)	0.17 0.19 0.20 m



ภาพที่ 43 ฝ่ายรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ความกว้างของสันฝาย b ที่ต่างกัน



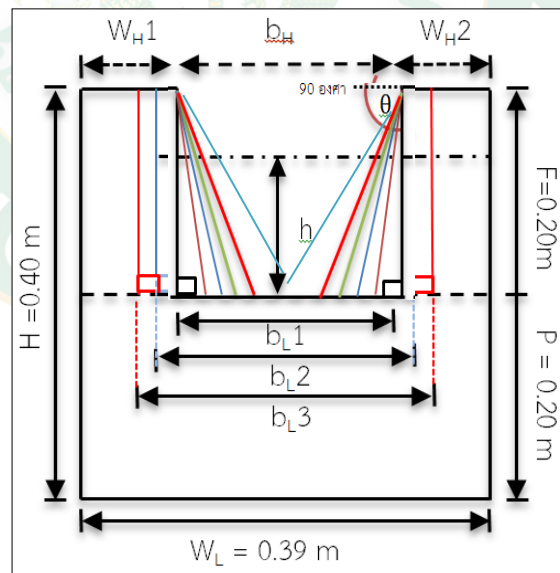
ภาพที่ 44 ฝ่ายรูปสี่เหลี่ยมพื้นที่ความกว้างของสันฝาย b ที่ A เท่ากับ 0.17 m, B เท่ากับ 0.19 m, และ C เท่ากับ 0.21 m

3.3.3.3 ศึกษาอิทธิพลของมุมของฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

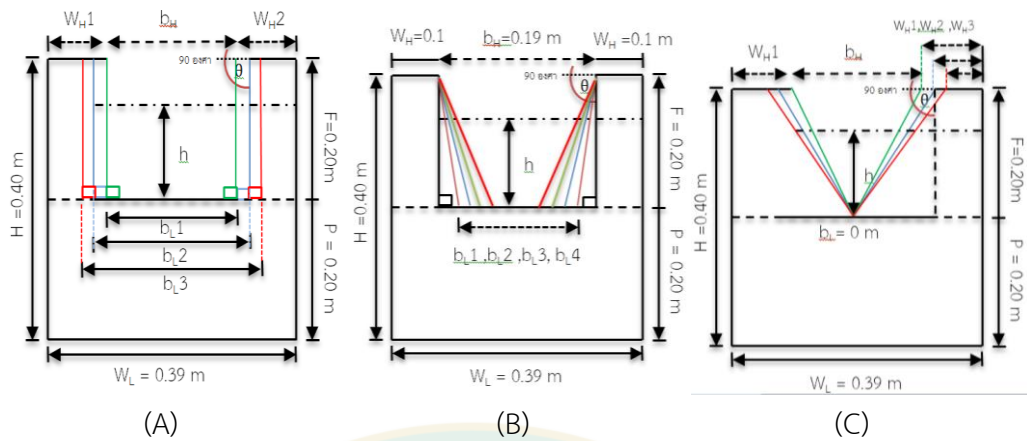
การศึกษาอิทธิพลของรูปแบบฝายส่งผลต่อลักษณะการไหลของน้ำและค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านฝายที่มุมต่าง ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 5 โดยมีวิธีการดำเนินงาน ตามขั้นตอนในข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 3 (ในหัวข้อที่ 3.3.3.1)

ตารางที่ 5 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของฝายน้ำล้นที่มุมของฝายต่างกัน

คำอธิบายและสัญลักษณ์	ขนาดและหน่วย
ความกว้างของฝายที่ต่ำ (W_L)	0.39 m
ความสูงของฝาย (H)	0.40 m
ความสูงของสันฝาย (p)	0.20 m
ความสูงเหนือสันฝาย (F)	0.20 m
ฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.17 0.19 0.21 m
-ความกว้างของสันฝายที่ต่ำ (b_L) มี 3 ค่า	0 องศา
ฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมู	
-ความกว้างของสันฝายที่ต่ำ (b_L) มี 3 ค่า	0.157 0.112 0.09 0.08 m
-พื้นที่หน้าตัดทำมุมองศา (A) มี 8 ค่า	5 10 15 20 องศา
ฝายรูปแบบสามเหลี่ยม	
-ความกว้างของสันฝายที่สูง (W_H) มี 3 ค่า	0.105 0.075 0.05 m
-พื้นที่หน้าตัดทำมุมองศา (A) มี 3 ค่า	25 30 35 องศา



ภาพที่ 45 แสดงลักษณะฝายน้ำล้นทั้งสามรูปแบบ



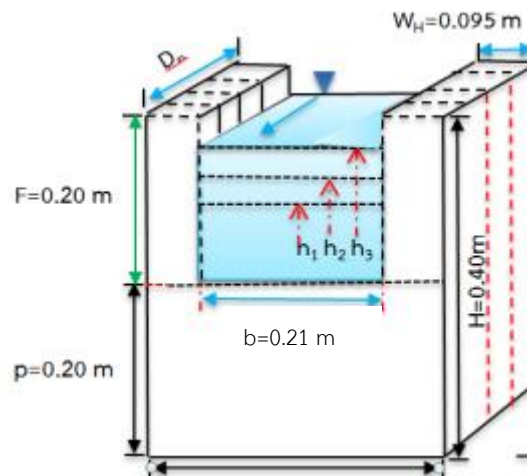
ภาพที่ 46 แสดงลักษณะรูปแบบของฝาย (A) ฝายรูปสี่เหลี่ยม (B) ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (C) ฝายรูปสามเหลี่ยม

3.3.3.4 อิทธิพลของความหนาแน่นฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

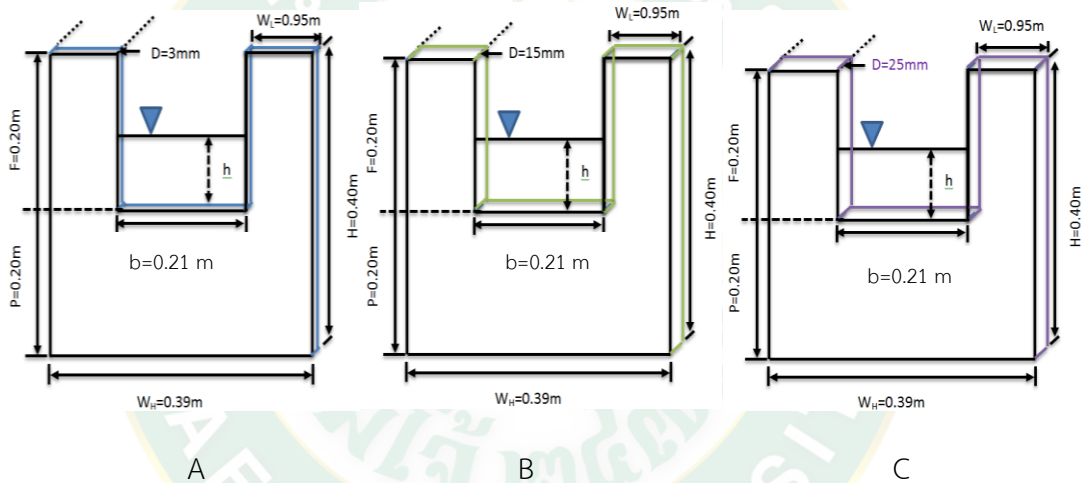
การศึกษาอิทธิพลของฝายน้ำล้นแบบสันหนาที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ ที่เป็นฝายแบบสันหนา ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 6 โดยมีวิธีการดำเนินงาน ตามขั้นตอนในข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 3 (ในหัวข้อที่ 3.3.3.1)

ตารางที่ 6 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของฝายน้ำล้นแบบสันหนา

คำอธิบายและสัญลักษณ์	ขนาดและหน่วย
ความกว้างของฝายที่ต่ำ (W_L)	0.39 m
ความสูงของฝาย (H)	0.40 m
ความสูงของสันฝาย (p)	0.20 m
ความสูงเหนือสันฝาย (F)	0.20 m
ฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.20 m
-ความกว้างของสันฝายที่ต่ำ (b_L)	
ฝายน้ำล้นแบบสันหนา มี 7 ค่า	3 15 25 mm



ภาพที่ 47 ฝ่ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความหนา (D)



ภาพที่ 48 ฝ่ายรูปแบบสันหนา D เท่ากับ 3 mm B เท่ากับ 15 mm และ C เท่ากับ 25 mm

3.3.4 การการพัฒนาสมการอธิบายอัตราการไหลของฝายน้ำล้นแบบสันหนา

การศึกษาการประเมินอิทธิพลของสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา จะเป็นการนำข้อมูลมาวิเคราะห์สร้างสมการในโปรแกรม Excel ในแต่ละรูปแบบของฝ่ายแบบสันหนา ฝ่ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝ่ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ฝ่ายรูปสามเหลี่ยม และฝ่ายที่มีสันแบบหนา ที่ 3 15 และ 25 mm

3.4 ระยะเวลาในการวิจัยและสถานที่ดำเนินงาน

3.4.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน 1 ปี

ขั้นตอนในการดำเนินงานเริ่มการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปเขียนโครงร่าง เพื่อทำการสอบโครงร่าง ขั้นตอนต่อมาจัดซื้ออุปกรณ์ในการทดลองและสร้างฝายน้ำล้น นำมาติดตั้งที่อุโมงค์น้ำเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเพื่อทำการทดสอบเก็บข้อมูลในการทดลอง และนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อนำไปเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ เก็บข้อมูลเพิ่มเติมและสรุปผลเพื่อนำไปเขียนเล่มจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์ และสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

ตารางที่ 7 แผนการดำเนินงานระยะเวลาในงานวิทยานิพนธ์

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือนที่)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	■												
จัดซื้ออุปกรณ์ในการทดลอง		■											
ออกแบบ และสร้างฝายน้ำล้น			■										
ติดตั้ง และอุปกรณ์ตรวจวัดในอุโมงค์				■									
การทดสอบเก็บข้อมูลการทดลอง					■								
การวิเคราะห์ผลการทดลอง						■							
นำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ							■						
เก็บข้อมูลเพิ่มเติมและสรุปผล								■					
จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์									■				
สอบป้องกันวิทยานิพนธ์										■			

3.4.2 สถานที่ดำเนินงาน

ทำการทดสอบโดยใช้อุโมงค์น้ำจำลองที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการทางพลังงานน้ำ อาคาร B วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผลการทดลอง

การอภิปรายผลของการประเมินสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงานของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา จะทำการศึกษาอิทธิพลต่างๆของฝาย ซึ่งประกอบด้วย อิทธิพลของความสูงของสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล อิทธิพลของความกว้างของสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล อิทธิพลของมุมของฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล อิทธิพลของความหนาสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล และการประเมินพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย โดยในแต่ละหัวข้อจะแสดงผลการทดสอบคุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำและจะทำการพัฒนาสมการอธิบายอัตราการไหลและสมการการหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายน้ำล้นแบบสันหนาแบบผิวเรียบของแบบที่ทำการทดสอบ

4.1 อิทธิพลของความสูงของสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงาน

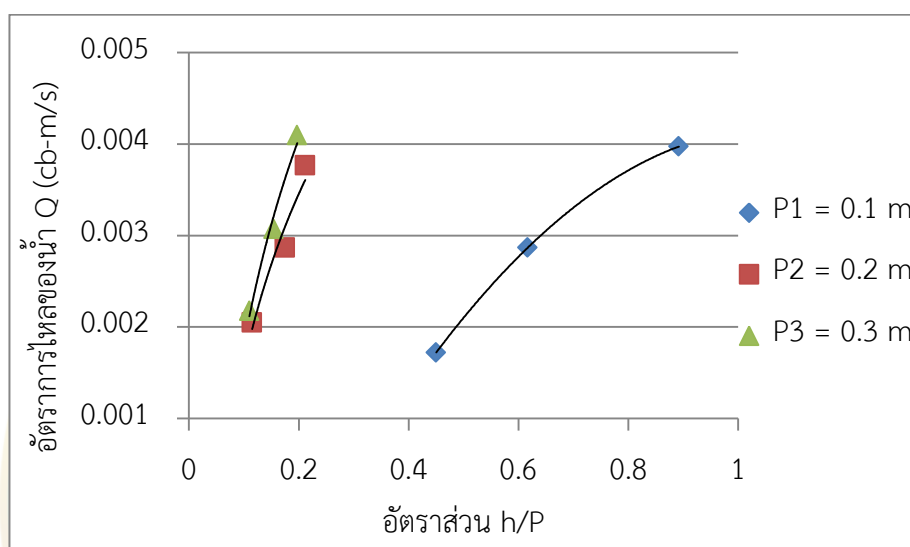
4.1.1 คุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย

คุณลักษณะการไหลของน้ำที่ประกอบด้วยความสูงระดับน้ำเหนือฝาย (h) ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย (x) และองศาการบีบอัดการตกของน้ำ (θ) ที่ระดับความสูงของสันฝาย (P) ค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 8 และในการทดลองได้ปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำ ทั้งนี้ พบว่า ความสูงของสันฝายไม่ส่งผลกระทบต่อระดับน้ำเหนือฝาย (h) แต่ทั้งนี้ระดับเหนือฝายสูง เมื่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น ระยะจุดตกของน้ำหลังฝายระยะห่างมากขึ้น เมื่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น แต่เมื่อความสูงของสันฝายเพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลกระทบต่อระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย อย่างมีนัยสำคัญ องศาการบีบอัดการตกของน้ำไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและความสูงของสันฝาย

ตารางที่ 8 การทดสอบฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ความสูงสันฝาย P

P (m)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	Cd	E (J)
0.10	0.00172	0.0450	0.0950	92.36	0.450	0.00366	0.4699	0.0348
0.10	0.00287	0.0617	0.1092	92.11	0.617	0.00452	0.6337	0.0856
0.10	0.00397	0.0892	0.1283	91.96	0.892	0.00594	0.6686	0.1090
0.20	0.00205	0.0230	0.1617	92.14	0.115	0.00319	0.6416	0.2245
0.20	0.00287	0.0350	0.1600	92.62	0.175	0.00416	0.6895	0.2660
0.20	0.00377	0.0423	0.1608	92.04	0.212	0.00475	0.7941	0.4134

P (m)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	Cd	E (J)
0.30	0.00282	0.0330	0.1033	92.92	0.110	0.00643	0.4378	0.1127
0.30	0.00307	0.0463	0.1400	92.86	0.154	0.00551	0.5570	0.1869
0.30	0.00410	0.0592	0.1916	93.76	0.197	0.00668	0.6132	0.2710



ภาพที่ 49 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอัตราส่วน h/P ที่ P_1 - P_3

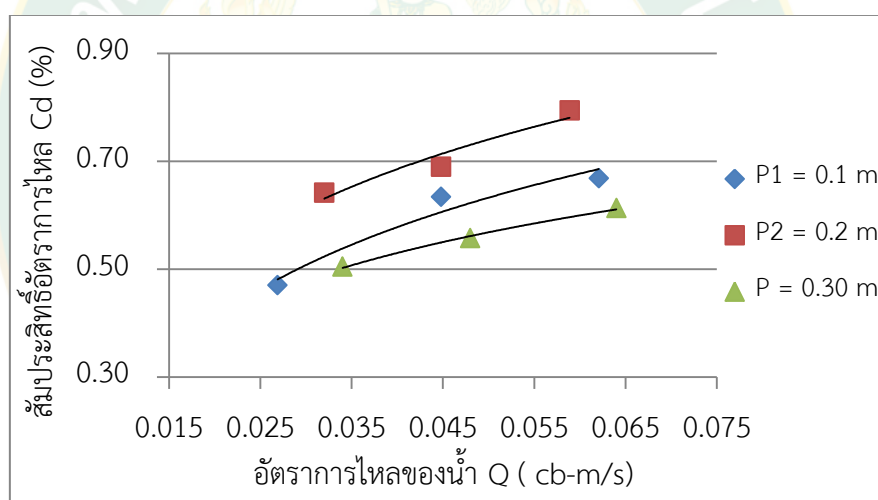
จากภาพที่ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q) กับอัตราส่วน h/P จากกราฟ จะได้เห็นว่า อัตราส่วน h/P เพิ่มขึ้น 0.4% เมื่ออัตราการไหลของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น 0.1% ที่ความสูงของสันฝายคงที่ และเมื่อพิจารณาที่ความสูงของสันฝายเปลี่ยนแปลงพบว่า เมื่อความสูงสันฝายลดลง 0.2% ทำให้ค่าอัตราส่วน h/P ลดลง 0.2% ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของ Hubert Chanson (Hubert, 2013)

4.1.2 สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านฝาย

สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ประกอบด้วยอัตราการไหลของน้ำจากการทดสอบ (Q_{ex}) ความสูงระดับน้ำเหนือฝายต่อความสูงของสันฝาย (h/P) และอัตราการไหลของน้ำจากทฤษฎี (Q_{th}) ที่ความสูงของสันฝาย ค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 9 และในการทดลองได้ปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำ ทั้งนี้ พบว่า อัตราการไหลของน้ำจากการทดสอบ (Q_{ex}) ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ โดยเมื่ออัตราการไหลของน้ำจากการทดสอบเพิ่มขึ้น 33% ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น 0.5% และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง h/P กับอัตราการไหลของน้ำ

ก็พบว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น 33% อัตราส่วน h/P ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น 0.15% สอดคล้องกับกรณีของ S. Bagheri (Bagheri, 2014) โดยค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำสูงสุด เท่ากับ 0.7941 ที่ความสูงของสันฝาย 0.20 m และอัตราการไหลของน้ำ $0.00377 \text{ m}^3/\text{s}$ และพบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำน้อยสุด เท่ากับ 0.4378 ที่ความสูงของสันฝาย 0.30 m และอัตราการไหลของน้ำ $0.00282 \text{ m}^3/\text{s}$ ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำจะเพิ่มขึ้นในกรณีอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 8

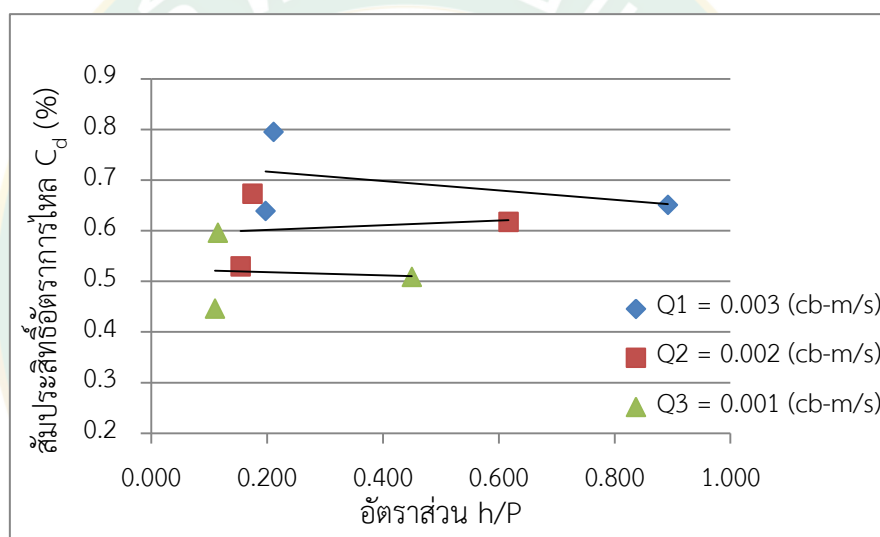
เมื่ออัตราการไหลของน้ำจากการทดสอบเพิ่มขึ้น จะทำให้ผลต่างระหว่างอัตราการไหลของน้ำจากการทดสอบและอัตราการไหลของน้ำจากทฤษฎี มีค่าน้อยลง จึงส่งผลค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น นั้นหมายความว่า ลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายที่อัตราการไหลสูงๆ มีลักษณะการไหลเข้าใกล้ลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายสันคม เนื่องจากสมการที่นำมาใช้ในการหาอัตราการไหลของน้ำจากทฤษฎี เป็นสมการกรณี น้ำไหลผ่านฝายสันคม กรณีฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ภาพที่ 50 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับอัตราการไหลที่ P_1 - P_3

จากภาพที่ 50 แสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) มีค่าต่ำ ที่ความสูงของสันฝายต่ำ และจะมีค่าสูงขึ้นที่ความสูงของสันฝายสูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง ซึ่งจากงานวิจัยนี้ มีค่าเท่ากับ 0.20 m และพบว่า เมื่อความสูงของสันฝายสูงขึ้นอีก 1% สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) จะลดลง 0.3% และสอดคล้องกับกรณีของ Bagheri (Bagheri, 2014) โดยค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำสูงสุด เท่ากับ 0.7941 ที่ความสูงของสันฝาย 0.20 m และอัตราการไหลของน้ำ $0.00377 \text{ m}^3/\text{s}$ และพบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำน้อยที่สุด เท่ากับ 0.4378 ที่ความสูงของสันฝาย 0.30 m และอัตราการไหลของน้ำ $0.00282 \text{ m}^3/\text{s}$ ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำในกรณีอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 8

ภาพที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) กับค่าอัตราส่วน h/P จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อค่าอัตราส่วน h/P มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลลดลง 0.2% ที่ความสูงของสันฝายที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุด และส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น 0.2% ที่ความสูงของสันฝายที่ปานกลาง อย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับกรณีของ Hamid (Hamid, 2017) โดยค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำสูงสุด เท่ากับ 0.7941 ที่ความสูงของสันฝาย 0.20 m และค่าอัตราส่วน (h/P) 0.8917 และพบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำน้อยสุด เท่ากับ 0.4378 ที่ความสูงของสันฝาย 0.30 m และค่าอัตราส่วน h/P 0.110 ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำสูงสุด ความสูงที่ปานกลาง อาจจะเป็นความเหมาะสมกันระหว่างความสูงของสันฝายกับความกว้างของฝายที่ทำการทดลองในชุดนี้

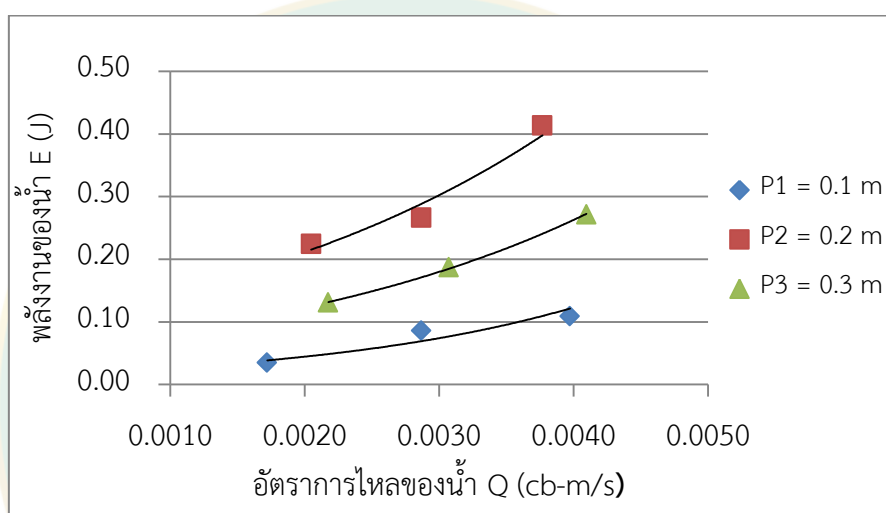


ภาพที่ 51 กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับอัตราส่วน h/P ที่ Q_1 - Q_3

4.1.3 ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย

จากค่าที่ได้จากการทดลองถูกนำมาใช้ในการหาค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย ซึ่งจะประกอบไปด้วยพื้นที่หน้าตัดของสันฝาย (A) ความกว้างของสันฝาย (b) ค่าความสูงของน้ำเหนือฝาย (h) ค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q) และค่าความหนาแน่นของน้ำคั่งที่ตลอดการทดสอบ เท่ากับ 998 kg/m^3 ค่าต่างๆ แสดงดังตารางที่ 9 และในการทดลองได้ปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำ ทั้งนี้พบว่า พื้นที่หน้าตัดของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝายและอัตราการไหลของน้ำมีผลกระทบต่อค่าพลังงานของน้ำ โดยพบว่า เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น จะทำให้ความสูงของน้ำเหนือฝายเพิ่มขึ้น และพื้นที่หน้าตัดของน้ำสันฝายก็จะเพิ่มขึ้น พลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝายก็จะสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 52

จากภาพที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของน้ำ (E) กับอัตราการไหลของน้ำ (Q) จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อค่าอัตราการไหลของน้ำมีค่าที่เพิ่มขึ้น 2.1% ส่งผลต่อค่าพลังงานของน้ำมีค่าที่เพิ่มขึ้น 0.1% โดยที่อัตราการไหลของน้ำมากที่สุดและน้อยที่สุด ส่งผลต่อค่าพลังงานของน้ำ E ลดน้อยลง และอัตราการไหลของน้ำปานกลาง ส่งผลต่อค่าพลังงานของน้ำมีค่าสูงที่สุด โดยค่าพลังงานของน้ำมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.4134 J ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.00377 m³/s ที่ความสูงสันฝายที่ 0.20 m และโดยพบค่าพลังงานของน้ำมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.0348 J ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.00172 m³/s ที่ความสูงสันฝายที่ 0.10 m ทั้งนี้ค่าพลังงานของน้ำ ในกรณีอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 8



ภาพที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของน้ำกับอัตราการไหลที่ P₁-P₃

4.2 อิทธิพลของความกว้างของสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงาน

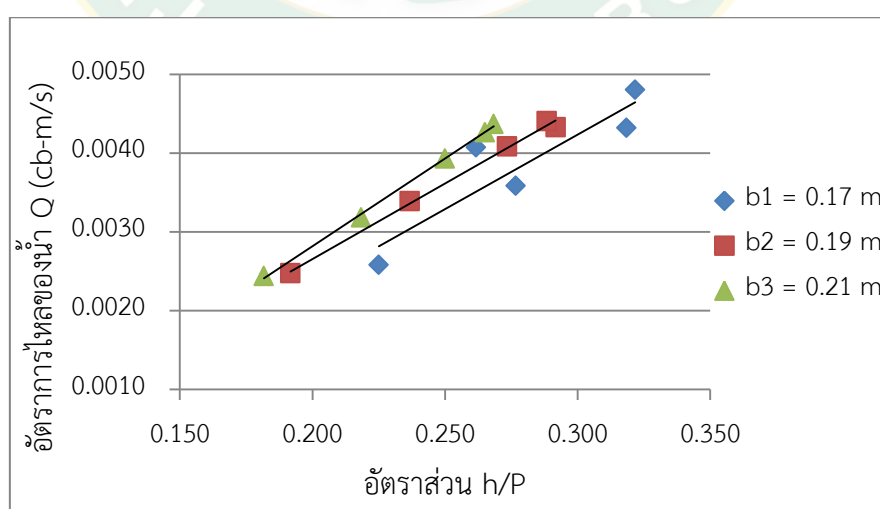
4.2.1 คุณลักษณะการไหลของน้ำที่ผ่านฝาย

คุณลักษณะการไหลของน้ำ แสดงดังตารางที่ 9 ทั้งนี้ พบว่า ความกว้างของสันฝายส่งผลกระทบต่อความสูงระดับน้ำเหนือฝาย (h) โดยที่อัตราการไหลของน้ำคงที่ เมื่อความกว้างของสันฝายเพิ่มขึ้น 0.3% จะทำให้ความสูงของระดับน้ำเหนือฝายลดลง 0.05% ระยะจุดตกของน้ำหลังฝายลดลง 0.17% ส่วนองศาการบีบอัดการตกของน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด

ภาพที่ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราการไหล Q กับค่าอัตราส่วน h/P จากกราฟจะเห็นได้ว่า ที่ความกว้างของสันฝายคงที่ อัตราการไหลของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น 25% เมื่ออัตราส่วน h/P เพิ่มขึ้น 0.3% และพบว่า เมื่อความกว้างของสันฝายลดลง 0.2% ค่าอัตราส่วน h/P ก็จะลดลง 0.1% ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของ Petra Van. (Petra Van, 2017)

ตารางที่ 9 การทดสอบฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่กว้างของสันฝาย b

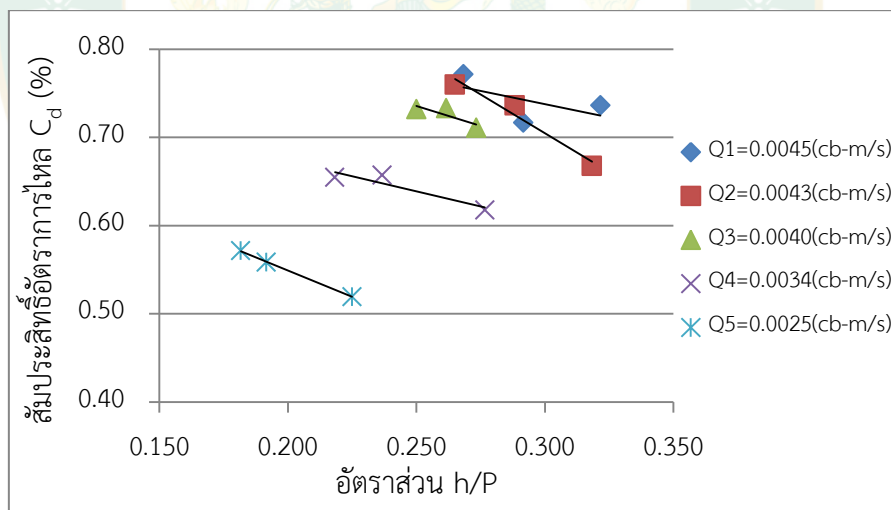
b (m)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	Cd	E (J)
0.17	0.0048	0.064	0.188	104.87	0.322	0.0065	0.7361	0.4614
0.17	0.0043	0.064	0.184	108.43	0.318	0.0065	0.6676	0.3428
0.17	0.0041	0.052	0.163	144.33	0.262	0.0056	0.7328	0.4252
0.17	0.0036	0.055	0.173	99.44	0.277	0.0058	0.6177	0.2588
0.17	0.0026	0.045	0.159	96.70	0.225	0.0050	0.5193	0.1461
0.19	0.0043	0.058	0.174	108.95	0.292	0.0060	0.7166	0.3289
0.19	0.0044	0.058	0.170	103.78	0.288	0.0060	0.7361	0.3552
0.19	0.0041	0.055	0.166	103.46	0.273	0.0057	0.7106	0.3143
0.19	0.0034	0.047	0.144	98.17	0.237	0.0052	0.6571	0.2393
0.19	0.0025	0.038	0.138	96.24	0.192	0.0044	0.5585	0.1422
0.21	0.0044	0.054	0.166	114.85	0.268	0.0057	0.7714	0.3273
0.21	0.0043	0.053	0.163	116.38	0.265	0.0056	0.7598	0.3116
0.21	0.0039	0.050	0.159	104.71	0.250	0.0054	0.7318	0.2741
0.21	0.0032	0.044	0.148	114.72	0.218	0.0049	0.6546	0.1906
0.21	0.0024	0.036	0.119	99.68	0.182	0.0043	0.5714	0.1241



ภาพที่ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราค่าการไหลกับอัตราส่วน h/P ที่ b₁-b₃

4.2.2 สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ผายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เมื่อความกว้างของสันฝายมีค่าเพิ่มขึ้น 0.2% ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น 0.7% โดยที่ความกว้างสันฝาย เท่ากับ 0.17 m ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.6547 และที่ความกว้างสันฝาย เท่ากับ 0.19 และ 0.21 m ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.6758 และ 0.6978 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ พบว่า สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น 0.7% เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น 25% ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในกรณีการศึกษาอิทธิพลของความสูงของสันฝาย ซึ่งสอดคล้องกับกรณีของ Emin (Emin, 2011) โดยค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.5193 ที่ค่าอัตราส่วน h/p 0.225 และความกว้างของสันฝาย 0.17 m และพบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลมากที่สุด เท่ากับ 0.7714 ที่ค่าอัตราส่วน h/P 0.268 และความกว้างของสันฝาย เท่ากับ 0.21 m ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ ในกรณีอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 9 เมื่อค่าอัตราส่วน h/P มีค่าเพิ่มขึ้น 0.2% ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำมีค่าลดลง 0.06% เมื่ออัตราการไหลของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น 25% จะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น 0.04% ดังแสดงในภาพที่ 54

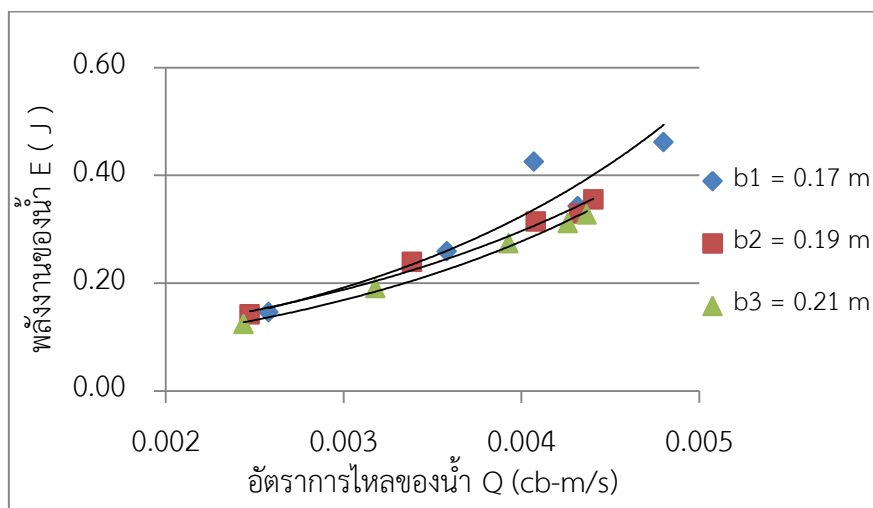


ภาพที่ 54 กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับค่าอัตราส่วน h/P ที่ Q_1 - Q_5

4.2.3 ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย

จากการศึกษาผลของความกว้างสันฝายต่อพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย พบว่า ค่าพลังงานของน้ำมีค่าลดลง 0.14% เมื่อความกว้างสันฝายเพิ่มขึ้น 0.2% โดยค่าพลังงานของน้ำที่สูงที่สุด เท่ากับ 0.4614 J ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0048 m^3/s และความกว้างของสันฝาย 0.17 m

และค่าพลังงานของน้ำที่น้อยที่สุด เท่ากับ 0.1241 J ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0024 m³/s และความกว้างของสันฝาย 0.21 m ดังแสดงในภาพที่ 55



ภาพที่ 55 กราฟความสัมพันธ์ค่าพลังงานของน้ำกับอัตราการไหลที่ b_1 - b_3

4.3 อิทธิพลของมุมของฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงาน

4.3.1 คุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย

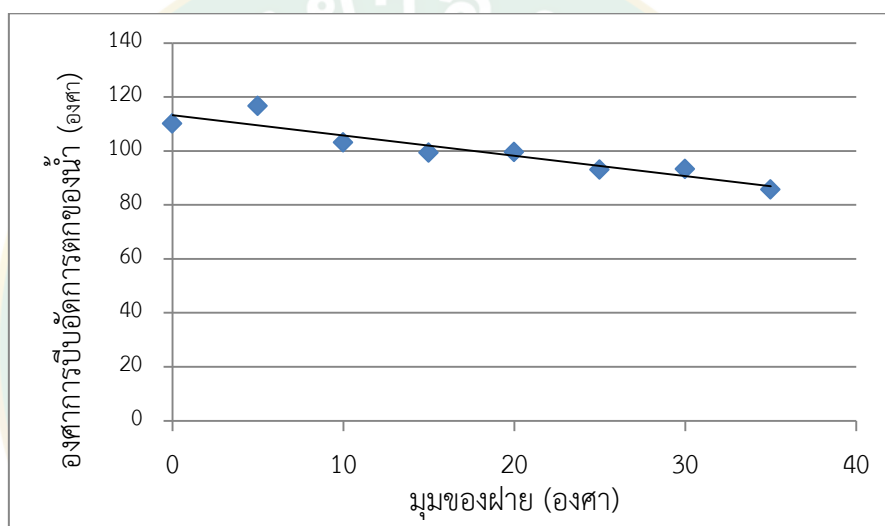
จากการศึกษา พบว่า ความสูงระดับน้ำเหนือฝายและระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย มีค่าเพิ่มขึ้น 0.09% และ 0.2% เมื่อมุมของฝายเพิ่มขึ้น 12.5% แต่มุมมองคาบิ์อัตราการตกของน้ำ มีค่าลดลง 3.5% ดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 56 และสอดคล้องกับกรณีของ Bijankhan (Bijankhan, 2017).

ตารางที่ 10 การทดสอบฝายที่มุมพื้นที่หน้าตัดของฝาย A

A (องศา)	Q_{ex} (m ³ /s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m ³ /s)	C_d	E (J)
0	0.0044	0.054	0.166	114.85	0.268	0.0057	0.771	0.3273
0	0.0043	0.053	0.163	116.38	0.265	0.0056	0.759	0.3116
0	0.0039	0.050	0.159	104.71	0.250	0.0054	0.731	0.2741
0	0.0032	0.044	0.148	114.72	0.218	0.0049	0.654	0.1906
0	0.0024	0.036	0.119	99.68	0.182	0.0043	0.571	0.1241
5	0.0044	0.065	0.195	113.36	0.325	0.0062	0.707	0.3979
5	0.0042	0.064	0.184	117.65	0.322	0.0062	0.684	0.3694

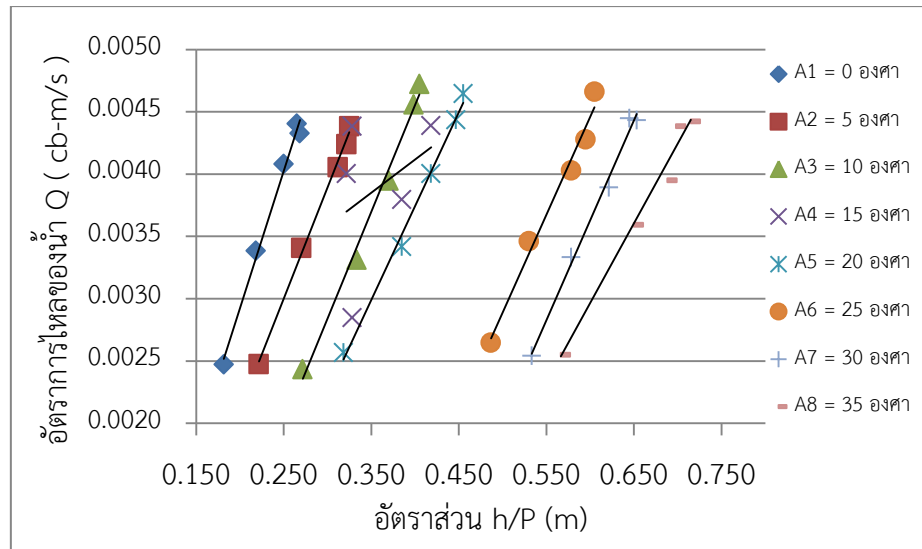
A (องศา)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	C_d	E (J)
5	0.0041	0.062	0.179	116.80	0.312	0.0062	0.657	0.3445
5	0.0034	0.054	0.164	117.33	0.270	0.0061	0.558	0.2720
5	0.0025	0.044	0.149	117.94	0.222	0.0060	0.412	0.1549
10	0.0047	0.081	0.210	102.71	0.405	0.0062	0.764	0.6022
10	0.0046	0.080	0.206	102.63	0.398	0.0062	0.738	0.5593
10	0.0039	0.074	0.197	102.87	0.370	0.0061	0.645	0.4225
10	0.0033	0.067	0.186	103.45	0.333	0.0061	0.547	0.3090
10	0.0024	0.054	0.165	103.59	0.272	0.0059	0.409	0.1851
15	0.0044	0.064	0.188	97.79	0.322	0.0060	0.737	1.0381
15	0.0044	0.066	0.212	99.41	0.328	0.0060	0.735	1.0217
15	0.0040	0.084	0.212	99.62	0.418	0.0061	0.653	0.4988
15	0.0038	0.077	0.195	99.53	0.385	0.0061	0.625	0.5052
15	0.0028	0.066	0.176	100.44	0.328	0.0060	0.477	0.3006
20	0.0046	0.091	0.219	99.03	0.455	0.0062	0.751	0.6848
20	0.0044	0.089	0.215	99.20	0.447	0.0062	0.718	0.6217
20	0.0040	0.084	0.214	99.46	0.418	0.0061	0.654	0.5224
20	0.0034	0.077	0.194	99.13	0.385	0.0061	0.564	0.3854
20	0.0026	0.064	0.179	101.13	0.318	0.0059	0.707	0.2485
25	0.0047	0.121	0.264	93.00	0.6050	0.0095	0.488	0.1180
25	0.0043	0.119	0.246	92.87	0.5950	0.0091	0.467	0.1237
25	0.0040	0.116	0.240	92.88	0.5783	0.0085	0.472	0.0957
25	0.0035	0.106	0.230	93.05	0.5300	0.0069	0.505	0.0896
25	0.0026	0.097	0.210	93.04	0.4867	0.0055	0.478	0.0484
30	0.0044	0.131	0.250	93.24	0.6533	0.0116	0.383	0.1608
30	0.0044	0.129	0.249	93.24	0.6450	0.0112	0.397	0.1679
30	0.0039	0.124	0.241	93.28	0.6217	0.0102	0.381	0.1295
30	0.0033	0.116	0.229	93.33	0.5783	0.0085	0.391	0.1041
30	0.0025	0.107	0.211	93.40	0.5333	0.0070	0.365	0.0638

A (องศา)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	C_d	E (J)
35	0.0044	0.143	0.266	85.89	0.7150	0.0145	0.305	0.1966
35	0.0044	0.140	0.263	85.77	0.6983	0.0137	0.321	0.1811
35	0.0039	0.138	0.259	85.77	0.6883	0.0132	0.299	0.1671
35	0.0036	0.130	0.246	85.72	0.6500	0.0114	0.314	0.1382
35	0.0026	0.113	0.230	85.42	0.5667	0.0081	0.314	0.0877



ภาพที่ 56 กราฟความสัมพันธ์มุมของฝายกับระยะจุดตกของน้ำหลังฝายที่ A₁-A₈

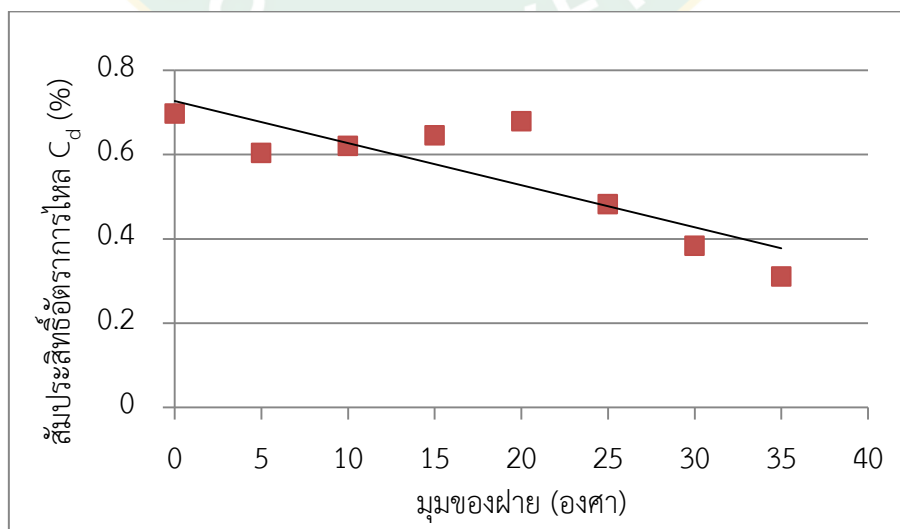
จากภาพที่ 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Q) กับอัตราส่วน h/P ที่มุมฝายค่าต่างๆ โดยพบว่า เมื่อมุมของฝายเพิ่มขึ้น 12.5% อัตราส่วน h/P มีค่าเพิ่มขึ้น 0.45% ซึ่งจะสอดคล้องกับกรณีของ A.Burcu Altan-Sakarya (Burcu, 2013).



ภาพที่ 57 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับอัตราส่วน h/P ที่ A_1 - A_8

4.3.2 สัมประสิทธิ์อัตราการไหล

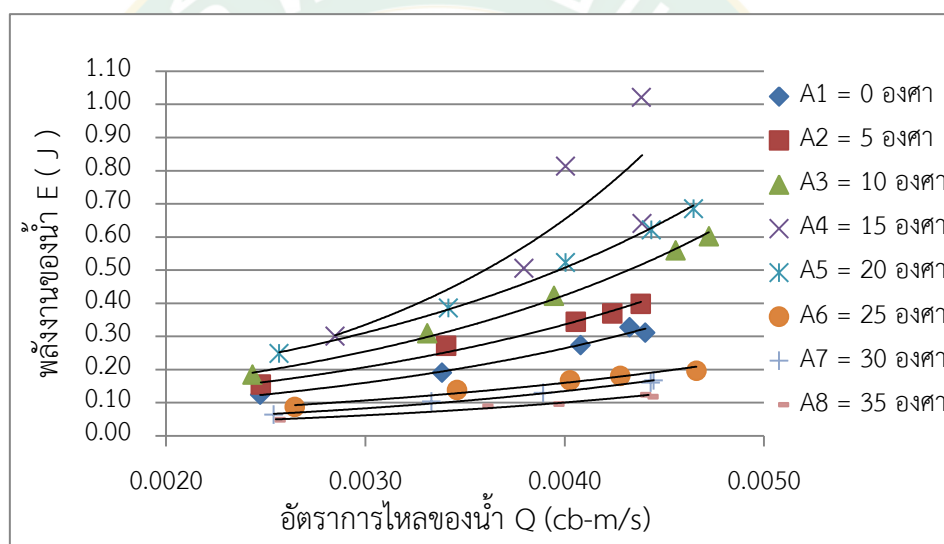
สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำจะมีค่าลดลง 0.6% เมื่อมุมของฝายเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 58 และสอดคล้องกับกรณีของ Yousef Sangsefid (Yousef, 2018) ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.2998 ที่อัตราการไหลของน้ำ $0.0039 \text{ m}^3/\text{s}$ ค่าอัตราส่วน h/P 0.688 และมุมพื้นที่หน้าตัดของฝาย 35 องศา (ฝายรูปสามเหลี่ยม) และพบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.7714 ที่อัตราการไหลของน้ำ $0.0043 \text{ m}^3/\text{s}$ ค่าอัตราส่วน h/P 0.268 และที่มุมพื้นที่หน้าตัดของฝาย 0 องศา (ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า) ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ ในกรณีอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 10



ภาพที่ 58 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับมุมของฝาย

4.3.3 ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย

ในกรณีฝายที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (มุมของฝาย เท่ากับ 5 ถึง 20) พลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝายมีค่าเพิ่มขึ้น 0.6% เมื่อมุมของฝายเพิ่มขึ้น 25% แต่เมื่อมุมของฝายเพิ่มขึ้นจนทำให้ฝายมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม (มุมของฝาย เท่ากับ 25 ถึง 35) พลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝายจะมีค่าลดลง 0.15% เมื่อมุมของฝายเพิ่มขึ้น 33% ดังแสดงในภาพที่ 59 โดยพบพลังงานของน้ำที่น้อยที่สุด เท่ากับ 0.1241 J ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0024 m³/s ที่อัตราส่วน h/P เท่ากับ 0.182 และที่มุมพื้นที่หน้าตัดของฝาย เท่ากับ 0 องศา และโดยพบค่าเฉลี่ยพลังงานของน้ำที่น้อยที่สุด เท่ากับ 13.430 J ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0047 m³/s ที่อัตราส่วน h/P เท่ากับ 0.6050 และที่มุมพื้นที่หน้าตัดของฝาย เท่ากับ 25 องศา



ภาพที่ 59 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของน้ำกับอัตราการไหลที่ A₁-A₈

4.4 อิทธิพลของความหนาสันฝายต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลและพลังงาน

4.4.1 คุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสันหนา

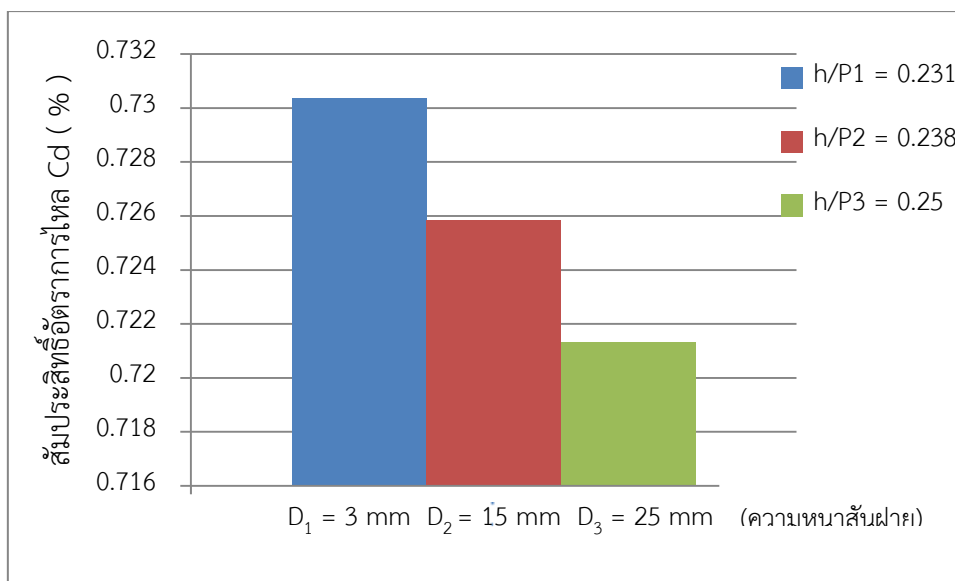
การจากทดลองพบว่า เมื่อความหนาของสันฝายเพิ่มขึ้น 33% ความสูงของน้ำเหนือฝายเพิ่มขึ้น 0.05% แต่ระยะจุดตกของน้ำหลังฝายลดลง 0.15% ส่วนค่าองศาการบีบอัดการตกของน้ำไม่ขึ้นอยู่กับความหนาสันฝาย ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การทดสอบฝายที่ความหนาของสันฝาย D

D (mm)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	C_d	E (J)
3	0.0044	0.052	0.164	97.98	0.262	0.0056	0.8011	0.364
3	0.0043	0.051	0.164	97.87	0.255	0.0054	0.7823	0.337
3	0.0039	0.048	0.160	97.26	0.242	0.0052	0.7474	0.290
3	0.0035	0.044	0.148	95.87	0.220	0.0049	0.7120	0.246
3	0.0026	0.036	0.133	94.57	0.178	0.0042	0.6089	0.150
15	0.0047	0.054	0.151	143.41	0.272	0.0057	0.8172	0.390
15	0.0043	0.053	0.150	104.75	0.267	0.0056	0.7705	0.326
15	0.0039	0.050	0.145	99.16	0.252	0.0054	0.7323	0.275
15	0.0035	0.045	0.135	98.46	0.223	0.0049	0.7090	0.243
15	0.0025	0.035	0.117	100.80	0.177	0.0042	0.6001	0.144
25	0.0047	0.057	0.142	143.25	0.283	0.0059	0.7888	0.356
25	0.0045	0.055	0.140	110.05	0.275	0.0058	0.7831	0.345
25	0.0041	0.052	0.136	102.92	0.260	0.0055	0.7476	0.295
25	0.0035	0.046	0.126	63.93	0.232	0.0051	0.6966	0.232
25	0.0027	0.040	0.127	120.56	0.198	0.0045	0.5904	0.138

4.4.2 สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสันหนา

สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น 0.8% เมื่อความหนาของสันฝายลดลง 33% ดังแสดงในภาพที่ 60 ทั้งนี้ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำเป็นค่าที่พิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของน้ำจากการทดสอบ (Q_{ex}) กับอัตราการไหลของน้ำจากทฤษฎี (Q_{th}) ซึ่งสมการสำหรับหาอัตราการไหลของน้ำจากทฤษฎี เป็นสมการในกรณีฝายสันคม ความหนาของสันฝายเท่ากับ 0 mm ดังนั้น ผลการทดลองที่ได้ จึงสอดคล้องกับทฤษฎีดังกล่าว



ภาพที่ 60 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลกับความหนาสันฝาย

4.4.3 ค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสันหนา

จากการศึกษาผลค่าพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝายจะมีค่าลดลง 0.37% เมื่อความหนาของสันฝายเพิ่มขึ้น 33% โดยพบค่าพลังงานของน้ำที่น้อยที่สุด เท่ากับ 0.2732 J ที่อัตราการไหลของน้ำ เท่ากับ 0.0044 m³/s ที่ค่าอัตราส่วน h/P เท่ากับ 0.00536 และที่ความหนาของสันฝาย 25 mm และโดยพบค่าพลังงานของน้ำที่มากที่สุด เท่ากับ 0.305 J ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.0047 m³/s ที่ค่าอัตราส่วน h/P 0.00525 ที่ความหนาของสันฝาย เท่ากับ 3 mm ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การทดสอบค่าพลังงานของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา

D (mm)	b (m)	h (m)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	E (J)
3	0.21	0.052	0.0110	0.0044	0.364
3	0.21	0.051	0.0107	0.0043	0.337
3	0.21	0.048	0.0102	0.0039	0.290
3	0.21	0.044	0.0092	0.0035	0.246
3	0.21	0.036	0.0075	0.0026	0.150
15	0.21	0.054	0.0114	0.0047	0.390
15	0.21	0.053	0.0112	0.0043	0.326
15	0.21	0.050	0.0106	0.0039	0.275
15	0.21	0.045	0.0094	0.0035	0.243

D (mm)	b (m)	h (m)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	E (J)
15	0.21	0.035	0.0074	0.0025	0.144
25	0.21	0.057	0.0119	0.0047	0.356
25	0.21	0.055	0.0116	0.0045	0.345
25	0.21	0.052	0.0109	0.0041	0.295
25	0.21	0.046	0.0097	0.0035	0.232
25	0.21	0.040	0.0083	0.0027	0.138

4.5 การพัฒนาสมการอธิบายสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย

จากการทดลองได้ทำการเก็บค่าต่างๆประกอบด้วยความสูงระดับน้ำเหนือฝาย (h, m) ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย (x, m) และองศาการบีบอัดการตกของน้ำ (θ , องศาเมื่อมุมจะเท่ากับ 0 กรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า) ที่ระดับความสูงของสันฝาย (P, m) ความหนาสัน (D, mm) มุมหน้าตัดของฝาย (A, องศา) อัตราการไหลของน้ำ (Q, m³/s) ซึ่งพบว่าค่าต่างๆเหล่านี้ ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ ดังนั้น จึงทำการพัฒนาสมการที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆกับสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ โดยใช้วิธีการ Regression ได้สมการความสัมพันธ์ ดังแสดงสมการที่ 13 โดยมีค่า R² เท่ากับ 0.8234 และค่า RMSE เท่ากับ 1.015 และได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ได้จากแบบจำลองและจากการทดลอง ดังภาพที่ 61

$$C_{d, \text{model}} = 0.383 + 0.0044(x/D) + 151.836Q + 0.008A - 1.673(h/P) \quad \text{สมการที่ 15}$$

$$\text{RMSE} = 1.015$$

เมื่อ

D คือ ความหนาของสันฝาย (mm)

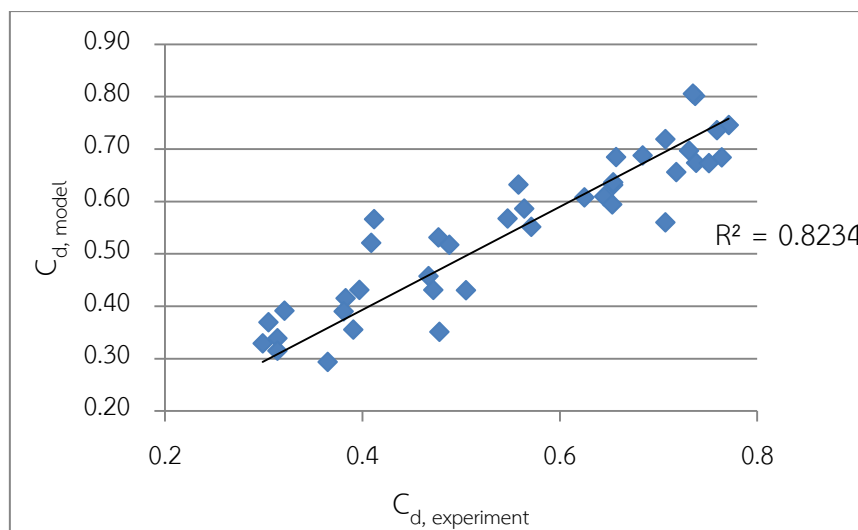
x คือ ระยะจุดตกของน้ำ (m)

Q คือ อัตราการไหลของน้ำ (m³/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m²)

h คือ ความสูงของน้ำเหนือฝาย (m)

P คือ ความสูงของสันฝาย (m)



ภาพที่ 61 กราฟความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจากแบบจำลองและการทดลอง

4.6 การหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤต (Critical Reynolds Number) เป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลที่การไหลเปลี่ยนจากการไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow) ไปเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Turbulent Flow) สำหรับของไหลในรางน้ำแบบเปิด ถ้าค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตมากกว่า 2,000 การไหลจะเปลี่ยนจากการไหลแบบลามินาร์ไปเป็นการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ (Network Solution) หาได้จากสมการที่ 11 และ 12 โดยมีวิธีการคำนวณ แสดงในภาคผนวก ก ตัวอย่างและวิธีการคำนวณค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ในข้อที่ 6

จากผลการคำนวณค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) จะเห็นได้ว่า ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าน้อยกว่า $Re < 2,000$ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลแบบลามินาร์ (Laminar Flow) ที่รูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีมุมพื้นที่หน้าตัดของฝาย 0 องศา ซึ่งค่าเฉลี่ย Re เท่ากับ 1734 ในขณะที่มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของฝาย ทำให้เปลี่ยนรูปแบบของฝายเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (5 ถึง 20 องศา) ซึ่งค่าเฉลี่ย Re เท่ากับ 2,000 ยังคงเป็นอัตราการไหลแบบลามินาร์ และเมื่อมุมพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นอีก (25 ถึง 35 องศา) ทำให้เปลี่ยนรูปแบบของฝายเป็นรูปสามเหลี่ยม จะเห็นได้ว่า ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่ามากกว่า $Re > 2,000$ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ ซึ่งค่าเฉลี่ย Re เท่ากับ 3284 ซึ่งจะสอดคล้องกับกรณีของ Ghorban Mahtabi (Ghorban, 2018) ที่มีการหาค่า $Re > 2000$ ซึ่งเป็นอัตราการไหลแบบเทอร์บิวเลนต์ แต่จากการทดสอบจะได้ค่า $Re < 2000$ ที่อัตราการไหลแบบลามินาร์ Re เท่ากับ 1734.

4.7 การนำไปใช้อธิบายสมการสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา

4.7.1 การหาค่าอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา

โดยการนำสมการอัตราการไหลของฝายสันคม ทั้งสามรูปแบบ รูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมู และรูปแบบสามเหลี่ยม เพื่อเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d ของฝายสันคม ในสมการที่ 3 5 และ 6 เปลี่ยนเป็นค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสันหนา $C_{d,model, สันหนา}$ ซึ่งได้จากสมการที่ 15 โดยมีการเปลี่ยนค่า A ไปตามรูปแบบของฝาย ก็จะได้ค่าอัตราการไหลของน้ำ $Q_{จริง, สันหนา}$ ของทุกรูปแบบของฝาย จะแสดงดังสมการที่ 16 17 และ 18

สมการอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา

กรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$Q_{จริง, สันหนา} = C_{d,model} \times \frac{2}{3} \sqrt{2g} \times b_e \times h_e^{\frac{3}{2}} \quad \text{สมการที่ 16}$$

กรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

$$Q_{จริง, สันหนา} = C_{d,model} \times \frac{2}{3} \sqrt{2g} \times b_c + \frac{4}{5} h \tan \frac{\theta}{2} \times h_1^{\frac{3}{2}} \quad \text{สมการที่ 17}$$

กรณีฝายสันคมสามเหลี่ยม

$$Q_{จริง, สันหนา} = C_{d,model} \times \frac{8}{15} \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times h_1^{\frac{5}{2}} \quad \text{สมการที่ 18}$$

เมื่อได้ค่าอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา $Q_{จริง, สันหนา}$ ซึ่งสามารถหาได้จากอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันคม $Q_{สันคม}$ กับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา $C_{d,model}$ เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่ากำลังของน้ำ P_w ต่อไป

$$P_w \longleftarrow Q_{จริง, สันหนา} = C_{d,model} Q_{สันคม} \quad \text{สมการที่ 19}$$

4.7.2 การหาค่ากำลังของน้ำ

จากการทดสอบการเกิดของกำลังจากพลังงานของน้ำ ซึ่งเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ของน้ำที่ล้นออกจากฝาย เกิดเป็นพลังงานจลน์ E_k (J) โดยพิจารณาจากสมการดังต่อไปนี้ จะได้ว่า

$$P_w = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad \text{J} \quad \text{สมการที่ 20}$$

ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่นของน้ำ (ρ) โดยใช้ค่าความหนาแน่นของน้ำคงที่ตลอดการทดสอบ ρ เท่ากับ 998 kg/m^3

โดยค่า Q เท่ากับ AV

จะได้

$$Q_{\text{จริง, สันหนา}} = AV \quad \text{m}^3/\text{s}$$

โดย V หาได้จากสมการดังนี้

$$V = \frac{Q_{\text{จริง, สันหนา}}}{A} \quad \text{m/s}$$

เมื่อ

$Q_{\text{จริง, สันหนา}}$ คือ อัตราการไหลฝายสันหนา (m^3/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของฝาย (m^2)

V คือ ความเร็วของน้ำ (m/s)

โดยมีการเปลี่ยน A ของแต่ละรูปแบบของฝาย และค่าของ AV เท่ากับ Q แทนค่าในสมการที่ 20 จะได้ดังแสดงสมการที่ 21 เพื่อใช้ในการคำนวณของกำลังของน้ำ

$$P_w = \frac{1}{2} \rho QV^2 \quad \text{J} \quad \text{สมการที่ 21}$$

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลงานวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อศึกษาคุณลักษณะการไหล สัมประสิทธิ์อัตราการไหล พลังงานของน้ำที่ไหลผ่านฝายและพัฒนาสมการอธิบายอัตราการไหลของฝายน้ำล้นแบบสันหนาแบบ ผิวเรียบ สามารถสรุปได้ว่า

1. ความสูงของน้ำเหนือฝายมีค่าลดลง เมื่อความกว้างของฝายเพิ่มขึ้น และมุมของฝายลดลง ส่วนความหนาและความสูงสันฝาย ไม่ส่งผลต่อความสูงของน้ำเหนือฝาย
2. ระยะจุดตกของน้ำหลังฝายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความสูงของสันฝายและมุมของฝายเพิ่มขึ้น แต่กลับมีค่าลดลง เมื่อความกว้างของฝายและความหนาเพิ่มขึ้น
3. องศาการบีบอัดของน้ำลดลง เมื่อมุมของฝายเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสูงของฝาย ความกว้างของฝาย และความหนาของฝาย ไม่ส่งผลต่อการบีบอัดของน้ำ
4. สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน h/P
5. สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อความกว้างของสันฝายเพิ่มขึ้น
6. สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำมีค่าลดลง เมื่อมุมของฝายและความหนาของฝายเพิ่มขึ้น
7. สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น เมื่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น
8. พลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านฝาย มีค่าแปรผันตรงกับสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ
9. สมการที่ 15 ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะการไหลกับสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ สามารถใช้งานได้โดยมีค่าแสดงความน่าเชื่อถือ R^2 เท่ากับ 0.8454 และค่า RMSE เท่ากับ 1.015.

ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำสมการที่ได้รับการพัฒนาเป็นแนวทางการนำไปใช้ที่มีความสอดคล้องกับรูปแบบฝายที่ทำการทดสอบใช้งานจริงในปัจจุบัน เนื่องจากนำข้อมูลมาวิเคราะห์ ผลของการทดลอง มีแนวโน้มของค่า C_d มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ของฝายน้ำล้นแบบสันหนา
2. ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับฝายที่มีรูปแบบที่เพิ่มมากขึ้น และศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของฝายที่เพิ่มมากขึ้นที่มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหล
3. ควรทำการศึกษาสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายในลักษณะฝายรูปแบบฝายเพิ่มเติมขึ้น เช่น ฝายรูปวงกลม ฝายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ฯลฯ
4. ควรทำการศึกษาคุณลักษณะการไหลของน้ำฝายฝายที่ตัวแปรอื่นๆที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ เช่น การวัดอุณหภูมิของน้ำ ลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนแบบช่วงต่อ
5. ควรออกแบบนวัตกรรมใหม่ของฝายที่มีการใช้งานเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยพัฒนาในด้านของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ที่มีความร่วมมือกับการจัดการบริหารน้ำของชลประทาน เช่น การพัฒนาออกแบบสะพานคมนาคมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,พพ กระทรวงพลังงาน “**สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย**” 2 มิ.ย 2560 (วันที่สืบค้น 1 กรกฎาคม 2560)
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,พพ กระทรวงพลังงาน “**ข้อมูลสถิติด้านพลังงาน**” วันที่ 2 มิ.ย 2560 (วันที่สืบค้น 1 กรกฎาคม 2560)
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,พพ กระทรวงพลังงาน “**แผนพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**”(Alternative Energy Development Plan,วันที่ 28 ก.ค. 2559 (วันที่สืบค้น 1 กรกฎาคม 2560)
- กฤษกร ศรีพิณิจ และคณะ, ชุดสารคดีอัตราการไหลของของไหล บทที่ 2 เรื่อง “**ทฤษฎีการหาเลขย์โนลต์**”, 2554 (วันที่สืบค้น 10 ตุลาคม 2561)
- สำนักอนุรักษ์และการจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช คู่มือการก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธาร (Check Dam) ส่วนจัดการทรัพยากรต้นน้ำ “**การก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธารชนิดต่างๆ**”, 2556 (วันที่สืบค้น 1 กรกฎาคม 2560)
- ปราโมทย์ พลพจนานาวี และคณะ, คู่มือกรมชลประทาน “**หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน**”, การจัดการความรู้ ตามแผนการจัดการความรู้เพื่อสนับสนุนประเด็นยุทธศาสตร์กรมชลประทาน, 2554, (วันที่สืบค้น 17 มิถุนายน 2560)
- ปริยาพร โกษา, ชลศาสตร์ (Hydraulics) บทที่ 7 เรื่อง “**การไหลในทางน้ำเปิด**” หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2556 (วันที่สืบค้น 1 กรกฎาคม 2560)
- สุโกสินทร ทองรัตนาศิริ และคณะ, หนังสือเรียนรายวิชาฟิสิกส์ “**พลังงานจลน์ (Kinetic Energy)**” กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560), (วันที่สืบค้น 29 กรกฎาคม 2561) .
- Ahmed M. El-Belasy a, **Developing Formulae for combined weir and orifice (case study: EL-Fayoum weirs).**(2018), Hydraulics Research Institute, **National Water Research Centre**, Egypt, 52, 763–768.
- Amir Hossein Zaji, Hossein Bonakdari, Sohrab Karimi. Radial Basis Neural Network and Particle Swarm Optimization-based equations for predicting the discharge capacity of triangular labyrinth weirs. (2015), **Department of Civil Engineering**, Razi University, Kermanshah, Iran 45, 341–347.

- Bijankhan a, S. Kouchakzadeh b. Unified discharge coefficient formula for free and submerged triangular labyrinth weirs. (2017), **Faculty of Engineering and Technology**, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, 46–56.
- Burcu Altan-Sakarya a,n, M.Ali Kokpinar b. Computation of discharge for simultaneous flow over weirs and below gates (H-weirs). (2013), **Department of Civil Engineering**, Middle East Technical University, 06800 Ankara, Turkey, 29, 32–38.
- Bagheri a, A.R. Kabiri-Samani a,n, M. Heidarpour b. Discharge coefficient of rectangular sharp-crested side weirs Part II: Domínguez's method. (2014), **Department of Civil Engineering**, Isfahan University of Technology, P.O. Box 84156, Isfahan, Iran, 35, 116–121.
- Crookston a, R.M. Anderson b, B.P.Tullis c, Free-flow discharge estimation method for Piano Key weir geometries. (2018), **Schnabel Engineering**, West Chester, PA, USA, 19, 160–167
- Emin Emiroglu a, Hayrullah Agaccioğlu b, Nihat Kaya c, Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels. (2011), a Firat University, Engineering Faculty, **Department of Civil Engineering**, 23119, Elazığ, Turkey, 22, 319–330.
- Farzaneh Nezami a,1, Davood Farsadizadeh b,2, Mohammad Ali Nekooie c, Discharge coefficient for trapezoidal side weir, (2015), **Alexandria Engineering Journal** 54, 595–605.
- Hubert Chanson n, Hang Wang, Unsteady discharge calibration of a large V-notch weir. (2013), The University of Queensland, **School of Civil Engineering**, Brisbane, QLD 4072, Australia, 19–24.
- Han Hu a, Zhongdong Qianb, Wei Yang a, Dongmei Hou a, Lan Du a, Numerical study of characteristics and discharge capacity of piano key weirs. (2018), **Changjiang River Scientific Research Institute**, China, 62, 27–32.
- Hamid Saadatnejadgharahassanlou A, Amin Gharehbaghi B, Saeid Mehdizadeh C, Experimental investigation of discharge coefficient over novel kind of sharp-crested V-notch weir. (2017), **Birol Kayad, Javad Behmaneshe**, 236–242.

- Gharahjeh, I.Aydin, A.B. Altan-Sakarya, Weir velocity formulation for sharp- crested rectangular weirs. (2015), **Department of Civil Engineering**, Middle East Technical University, Ankara 06800, Turkey, 41, 50–56.
- Guven, M. Hassan a, Shahin Sabir b, Experimental investigation on discharge coefficient for a combined broad crested weir-box culvert structure. (2013), University of Gaziantep, **Department of Civil Engineering**, 27310 Gaziantep, Turkey, 97–103.
- Ghorban Mahtabi a, Hadi Arvanaghi b, Experimental and numerical analysis of flow over a rectangular full-width sharp-crested weir, (2018), **Water Science and Engineering**, x(x): 1-6.
- Mohammad Mahmoud Ibrahim, Bed profile downstream compound sharp crested V-notch weir. (2017), **Engineering, Benha University**, PO Box 11629, Shoubra, Egypt, 54, 607–613.
- Mohamad Reza Madadi A , Ali Hosseinzadeh Dalir B,1, Davood Farsadizadeh B,2 , Investigation of flow characteristics above trapezoidal broad-crested weirs, (2014), **Flow Measurement and Instrumentation**, 38, 139–148.
- Mamok Suprpto a, Increase Spillway Capacity using Labyrinth Weir. (2013), **Civil Engineering, Sebelas Maret University**, Jl. Ir. Sutami No. 36, Surakarta, Indonesia, 440–446.
- Mehboudi a, J. Attari b, S.A. Hosseini c, Experimental study of discharge coefficient for trapezoidal piano key weirs. (2016), **Civil Engineering, Science and Research Branch**, Islamic Azad University, Tehran, Iran, 50, 65–72.
- Maha R. Fahmy, Effect of sediment deposition on the efficiency of Fayoum weir. (2015), **Water Engineering and Water Structures Dept**, Faculty of Engineering, Zagazig University, Egypt, 46, 133–138.
- Mohamad Reza Madadi A, AliHosseinzadehDalir B, 1, DavoodFarsadizadeh B,2. Control of undular weir flow by changing of weir geometry. (2013), **Flow Measurement and Instrumentation**, 34, 160–167.
- Petra Van Daal-Rombouts a,b, Aldo Tralli c, Femke Verhaart c, Jeroen Langevelde d, François Clemens a,c. Validation of computational fluid dynamics for deriving weir discharge relationships with scale model experiments and

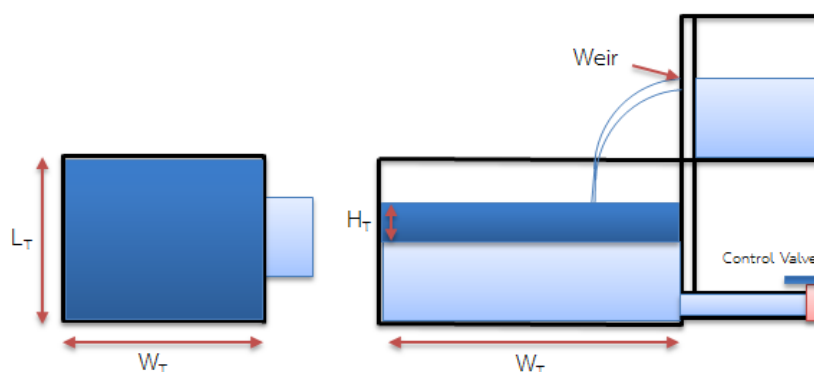
- prototype measurements. (2017), **Delft University of Technology**, P.O. Box 5048, 2600 GA Delft, The Netherlands, 58, 52–61.
- Siamak Gharahjeh , IsmailAydin. Application of video imagery techniques for low cost measurement of water surface velocity in open channels. (2016), Civil Engineering Department, **Flow Measurement and Instrumentation**, 51, 79–94.
- Saeid Shabanlou a, n. Eghbal Khorami b, Study of the hydraulic properties of the cylindrical crested weirs. (2013), **Department of Water Engineering, Kermanshah Branch**, Islamic Azad University, 33, 153–159.
- Seyyed Mojtaba Azimfar, Seyyed Abbas Hosseini, Amir Khosrojerrdi. Derivation of discharge coefficient of a pivot weir under free and submergence flow conditions. (2018), **Flow Measurement and Instrumentation**, 59, 45–51.
- Satreethai Poommai a , Kasem Chunkao b, Surat Bualerd c. Variation of Oxygen Transfer along the Rectangular Weir Crest Distance of Wastewater Treatment Pond. (2012), **Kasetsart University**, Bangkok 10900, Thailand, 498–512
- Vito Ferroa A , Ismail Aydinb B. Testing the outflow theory of Malcherek by slit weir data. (2018), **Flow Measurement and Instrumentation**, 59, 114–117.
- Yousef Sangsefidia A, Mojtaba Mehraeinb B, Masoud Ghodsian c. Experimental study on flow over in-reservoir arced labyrinth weirs. (2018), **Flow Measurement and Instrumentation**, 59, 215–224.



ภาคผนวก ก
ตัวอย่างและวิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาอัตราการไหลจากการทดสอบ

ในการทดสอบจะทำการวัดอัตราการไหลด้วยการ วัดปริมาตร V ของน้ำ โดยวัดจากพื้นที่ถังเก็บน้ำในถัง ซึ่งมีขนาดของความกว้าง ความยาว และความสูงของถัง (ที่ระดับน้ำเพิ่มขึ้น) โดยความสูงของถังที่มีน้ำเพิ่มขึ้นจะมีการกำหนดที่ 0.1 m แล้วจะทำการจับเวลา ว่าใช้เวลากี่วินาที t (s) น้ำจะเพิ่มขึ้นถึงที่จุดกำหนด โดยทำการปิดวาล์วตรงที่ท่อเชื่อมต่อน้ำไหลเวียนเข้าไปยังอีกถัง และพร้อมกับการจับเวลาไปด้วย แสดงดังภาพภาคผนวกที่ 1



ภาพภาคผนวกที่ 1 แสดงถังเก็บน้ำของการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้น

จากสมการที่ 13

$$Q = \frac{W_T L_T H_T}{t} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

เมื่อ

W_T คือ ความกว้างของถังเก็บน้ำ m L_T คือ ความยาวของถังเก็บน้ำ m
 H_T คือ ความสูงของถังเก็บน้ำ m

ตัวอย่างการคำนวณ

ชุดอุโมงค์น้ำแบบทางเปิดมีถังเก็บน้ำมีความกว้าง 0.80 m และความยาวของถัง 0.80 m โดยมีการปล่อยน้ำเคลื่อนที่ในรางน้ำผ่านฝายน้ำล้นเข้าสู่ภายในถังเก็บน้ำ โดยกำหนดความสูงของน้ำในถัง 0.10 m และทำการจับเวลา t

ผลการทดสอบ กรณีฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$W_T = 0.80$ m, $L_T = 0.80$ m, $H_T = 0.10$ m

ผลการทดสอบ $t = 13.33$ s

แทนค่าในสมการ

จะได้

$$Q = \frac{0.80 \times 0.80 \times 0.10}{13.33} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{ex}} = 0.0048 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

2. การคำนวณหาอัตราการไหลจากทฤษฎี กรณีใช้ สมการฝายสันคม

ทำการหาอัตราการไหลจากทฤษฎี $Q_{\text{theoretical}}$ สมการฝายสันคม
กรณี สมการฝายสันคม รูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$Q_{\text{th}} = 0.00134 + (0.10948 \times h) - (0.00579 \times h/P)$$

ผลของ $h = 0.064 \text{ m}$, $h/P = 0.322$ ที่ $P = 0.20 \text{ m}$

แทนค่าในสมการ

$$Q_{\text{th}} = 0.00134 + (0.10948 \times 0.064) - (0.00579 \times 0.322)$$

จะได้

$$Q_{\text{th}} = 0.0065 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

3. การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

โดยหาได้จากสมการที่ 12

$$Q_{\text{experiment}} = C_d Q_{\text{theoretical}}$$

จากผลการคำนวณ

$$Q_{\text{ex}} = 0.0048 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{th}} = 0.0065 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

นำไปแทนค่าจากสมการ

จะได้

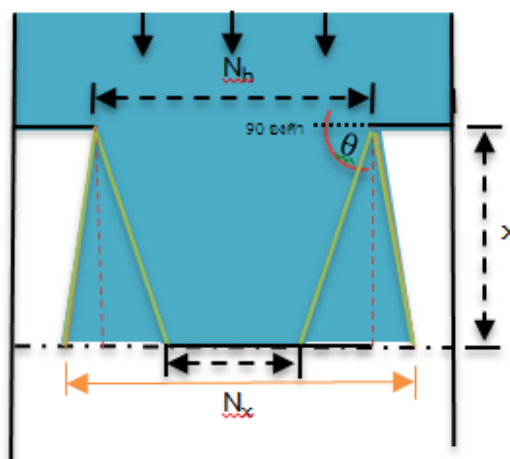
$$C_d = \frac{0.0048}{0.0065}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

$$C_d = 0.7361$$

4. การคำนวณหาองศาการบีบอัดของน้ำล้น

โดยทำการตรวจวัดผลจากการทดสอบ ที่เป็นตัวแปรเกี่ยวข้องกับองศาการบีบตัวของน้ำล้น ซึ่งมีความกว้างของสันฝาย P ระยะจุดตกของน้ำ X ความสูงของน้ำเหนือฝาย h ความกว้างของระดับความสูงของน้ำที่ผิวหน้า N_h ความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก N_x แสดงดังภาพภาคผนวกที่ 2



ภาพ

ภาพภาคผนวกที่ 2 แสดงการบีบอัดของมุมมองของน้ำล้นผ่านฝาย

ตัวอย่างการคำนวณ

ผลจากการทดสอบ กรณีฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งมีค่าความกว้างของสันฝาย P เท่ากับ 0.17 m ความกว้างของระดับความสูงของน้ำที่ผิวหน้า N_h เท่ากับ 0.17 m (หากเป็นรูปแบบอื่นค่า N_h อาจมีการเปลี่ยนแปลง) ระยะจุดตกของน้ำ X เท่ากับ 0.188 m และค่าความกว้างของน้ำล้นที่ระยะจุดตก N_x เท่ากับ 0.145 m ทำการหาค่า n ค่าระยะความกว้างระหว่าง N_h กับ N_x และหาองศาการบีบอัด

การหาค่า n ค่าระยะความกว้างระหว่าง N_h กับ N_x โดยการนำ 2 มาหาร จะคิดคำนวณระยะที่ n ที่ด้านเดียว

จะได้จาก

$$n = \frac{N_h - N_x}{2}$$

ที่ n คือ ระยะการบีบอัดของน้ำล้น

ที่ N_x เท่ากับ 0.145 m และ N_h เท่ากับ 0.17 m

แทนค่า

$$n = \frac{0.17 - 0.145}{2}$$

จะได้ n ซึ่งเป็นค่าตรงข้ามของมุมฉาก

$$n=0.013$$

ซึ่ง ระยะจุดตกของน้ำ X เท่ากับ 0.188 m เป็นค่าด้านชิดของมุมฉาก
นั้นเป็นมุมของ $\tan \theta$ หาได้จาก

$$\tan \theta = \text{มุมข้ามฉาก/มุมชิดของฉาก}$$

$$\tan \theta = \frac{0.013}{0.188}$$

จะได้

$$\tan \theta = 0.067$$

หามุมองศา จะได้

แทนค่า

จะได้

$$\theta = \frac{1}{\tan}$$

$$\theta = \frac{1}{0.067}$$

ดังนั้นจะได้มุมองศาที่เพิ่มขึ้น

$$\theta = 15 \text{ องศา}$$

และการคิดมุม 0 องศา ที่ แนวด้านของฝายที่บีบข้าง ทำให้เกิดมุมฉากกับช่องน้ำล้น 90 องศา

ดังนั้นนำมุมที่เพิ่มขึ้น หรือลดลงมาบวกกับ 90 องศา

จะได้มุมการบีบอัดของน้ำ

$$\begin{aligned} \text{มุมการบีบอัดของน้ำล้น} &= 90+15 \\ &= 105 \text{ องศา} \end{aligned}$$

ซึ่งแสดงว่า ถ้าหากค่าบีบอัดของน้ำมากกว่า 90 องศา แสดงว่าปลายของน้ำที่ระยะจุดตกเริ่มลดน้อยลง และถ้าหากค่าบีบอัดของน้ำน้อยกว่า 90 องศา แสดงว่าปลายของน้ำที่ระยะจุดตกเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้น

5. การคำนวณหาพลังงานของน้ำ

จากสมการพลังงานจลน์ สมการที่ 10

พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) คือ พลังงานอยู่ในวัตถุที่กำลัง เคลื่อนที่ โดยพลังงานจลน์ จะขึ้นอยู่กับมวล และอัตราเร็วของวัตถุ ซึ่ง เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{พลังงานจลน์} = \frac{1}{2} \times \text{มวล} \times \text{อัตราเร็ว}^2$$

โดยมวล m ซึ่งในการทดสอบเป็นการวัดพื้นที่หน้าตัดของฝาย A ซึ่งเป็นช่องน้ำของมวลที่ ผ่านฝาย

กำหนดให้ E_k แทนพลังงานจลน์
จะได้

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{J}$$

ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิต่อความหนาแน่นของน้ำ (ρ) โดยใช้ค่าความหนาแน่นของน้ำคงที่ตลอดการทดสอบ เท่ากับ 998 kg/m^3
จากสมการความหนาแน่นของน้ำ

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{m}^2/\text{s}$$

จะได้

$$m = \rho v$$

และนำไปแทนที่ m ในสมการพลังงานของน้ำ
ดังนั้นจะได้

$$E_k = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

เมื่อ E_k คือ พลังงานจลน์ จูล (J)

A คือ หน้าตัดของฝาย m^2

v คือ อัตราเร็ว เมตรต่อวินาที (m/s)

ตัวอย่างการคำนวณ

ได้ทำการทดสอบที่มีความกว้างของสันฝาย b เท่ากับ 0.17 m ความสูงระดับน้ำเหนือฝาย h เท่ากับ 0.0643 m อัตราการไหลของน้ำ Q เท่ากับ $0.0048 \text{ m}^3/\text{s}$ หาพลังงานของน้ำ เท่ากับเท่าไรกรณีฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

หาพื้นที่หน้าของฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า
จะได้

$$A = bh \quad \text{m}^2$$

แทนค่า

$$A = (0.17)(0.0643)$$

ดังนั้น A

$$A = 0.0109 \text{ m}^2$$

หาค่า V จากสมการ

$$Q = AV$$

แทนค่า

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.0048}{0.0109} \quad \text{m/s}$$

ดังนั้น

$$V = 0.4389$$

นำค่า V ยกกำลัง 3 จะได้

$$V^3 = 0.0845$$

นำค่า A และค่า V³ แทนค่าในสมการพลังงาน

จะได้ โดย ρ เท่ากับ 998 kg/m^3

$$E_k = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

$$E_k = \frac{1}{2} \times 998 \times 0.0109 \times 0.0845$$

ดังนั้น

$$E_k = 0.4614 \text{ J}$$

กรณีตัวอย่างฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำการคำนวณฝายรูปแบบอื่น แต่เปลี่ยนค่าของพื้นที่หน้าตัด A ตามสมการของรูปแบบนั้น

6. สมการการหาค่า Reynolds number

จากสมการที่ 11

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu}$$

โดยในการทดลองมีการกำหนดค่า $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ และค่า $\mu = 0.001 \text{ N.s/m}^2$
และ V หาได้จาก

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{m/s}$$

โดยที่ $A = hb \text{ m}^2$

และค่า D_h หาได้จาก

$$D_h = h \times W \quad \text{m}$$

เมื่อ Re คือ เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re)

ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

μ คือ ความหนืดของเหลวแบบไดนามิก (N.s/m^2)

V คือ อัตราเร็วของน้ำ (m/s)

D_h คือ พื้นที่หน้าตัดของรางน้ำของฝาย (m)

W คือ ความกว้างรางน้ำของสันฝาย (m)

ตัวอย่างการคำนวณ

การทดสอบได้มีค่าคงที่ความหนาแน่นของน้ำ $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ และค่าความหนืดของเหลวแบบไดนามิก $\mu = 0.001 \text{ N.s/m}^2$ และมีค่าความสูงของระดับน้ำเหนือฝาย h (m) ค่าความกว้างของฝาย W (m) ตามข้อมูลในการทดลอง

วิธีทำ

หาค่า D_h ได้ดังนี้

$$D_h = h \times W \quad \text{m}$$

กรณีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ h เท่ากับ 0.054 m และ W เท่ากับ 0.39 m

นำค่าไปแทนในสมการจะได้

$$D_h = 0.054 \times 0.39 \quad \text{m}$$

ดังนั้นจะได้

$$D_h = 0.02166 \text{ m}$$

หาค่า V ได้จากสมการดังนี้

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{m/s}$$

ค่า Q ได้จากการทดสอบ Q เท่ากับ $0.0044 \text{ m}^3/\text{s}$

ค่า A เท่ากับ ความสูงสันฝายรวมกับความสูงของน้ำเหนือฝาย
จะได้

$$A = P + h \times b$$

แทนค่าในสมการ A

b เท่ากับ 0.21 m

จะได้

$$A = 0.20 + 0.054 \times 0.21$$

ดังนั้นจะได้

$$A = 0.053 \quad \text{m}^2$$

นำค่า Q และค่า A ไปแทนค่าในสมการ V

จะได้

$$V = \frac{0.0044}{0.053}$$

ดังนั้นจะได้

$$V = 0.0825 \text{ m/s}$$

นำค่า V D_h แทนค่าในสมการหา เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re)

จะได้

$$Re = \frac{998 \times 0.0825 \times 0.2166}{0.001}$$

ดังนั้นจะได้

$$Re = 1734$$

จากผลการคำนวณค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) จะเห็นได้ว่า ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าน้อยกว่า $Re < 2,000$ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงอัตราการไหลแบบลามินาร์ (laminar flow) ที่รูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มุมพื้นที่หน้าตัดของฝาย 0 องศา ซึ่งค่าเฉลี่ย Re เท่ากับ 1734



1. พัฒนสมการอัตราการไหลและสัมประสิทธิ์อัตราการไหล สำหรับฝายทุกรูปแบบของฝาย

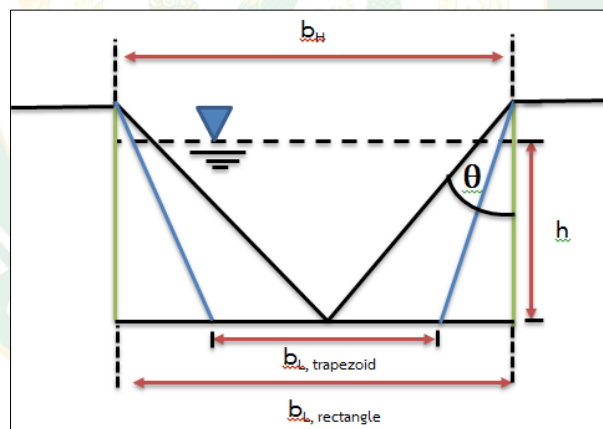
การศึกษาสมการของทุกรูปแบบของฝาย จะสังเกตเห็นทุกรูปแบบของฝายจะมีตัวแปรที่เหมือนกัน ซึ่งจะมีความแตกต่างของตัวแปรมีแค่ส่วนน้อยที่มีผลการเปลี่ยนรูปแบบของฝายให้กลายเป็นรูปแบบต่าง นั่นคือ θ มุมหน้าตัดของฝาย ซึ่งจะนำสมการที่ข้อ 14 16 และสมการข้อที่ 18 นำมาแก้สมการให้อยู่ในรูปแบบสมการหาอัตราการไหลของฝายที่สามารถให้ได้ทั้งสามรูปแบบของฝาย

อัตราการไหลของ Chezy จากสมการที่ 14 16 และ 18 รวมกัน

$$Q = b_L \times C_d \sqrt{2gh_1}^{3/2} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q = b_L + Zh \times C_d \sqrt{2gh_1}^{3/2} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q = Z \times C_d \sqrt{2gh_1}^{5/2} \quad \text{m}^3/\text{s}$$



ภาพภาคผนวกที่ 3 แสดงหน้าตัดทางน้ำของฝายทุกรูปแบบทำการทดสอบ

นำสมการทั้งสามมารวมกัน

จะได้

$$Q_{In, format} = b_L \times C_d \sqrt{2gh_1}^{3/2} + b_L + Zh \times C_d \sqrt{2gh_1}^{3/2} + Z \times C_d \sqrt{2gh_1}^{5/2}$$

ดังนั้นจะได้ สมการที่ 22

$$Q_{In, format} = b_L \times Zh \times Z \times C_d \sqrt{2gh_1}^{11/2} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

จากสมการ Q โดยมีตัวแปรของการคิดคำนวณอยู่ด้วยกัน นั่นคือ ค่า C_d ซึ่งเป็นค่าที่มีการพัฒนาวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบของรูปแบบฝายสันหนา ร่วมทุกรูปแบบ ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 จัดเรียงข้อมูลตัวแปรหลักของจะทำการพัฒนาสมการ C_d และจัดเรียงตัวแปรรองหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของค่า C_d ดังตารางภาคผนวกที่ 1

ตารางภาคผนวกที่ 1 ตัวแปรที่มีอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของค่า C_d

h (m)	x/D	h/p	Q_{ex} (m ³ /s)	A (degree)	$C_{d,experiment}$	$C_{d,model}$
0.054	33.20	0.27	0.0044	0	0.771	0.75
0.053	32.60	0.27	0.0043	0	0.759	0.74
0.05	31.80	0.25	0.0039	0	0.731	0.70
0.044	29.60	0.22	0.0032	0	0.654	0.63
0.036	23.80	0.18	0.0024	0	0.571	0.55
0.065	39.00	0.33	0.0044	5	0.707	0.72
0.064	36.80	0.32	0.0042	5	0.684	0.69
0.062	35.80	0.31	0.0041	5	0.657	0.68
0.054	32.80	0.27	0.0034	5	0.558	0.63
0.044	29.80	0.22	0.0025	5	0.412	0.57
0.081	42.00	0.41	0.0047	10	0.764	0.68
0.08	41.20	0.40	0.0046	10	0.738	0.67
0.074	39.40	0.37	0.0039	10	0.645	0.61
0.067	37.20	0.34	0.0033	10	0.547	0.57
0.054	33.00	0.27	0.0024	10	0.409	0.52
0.064	37.60	0.32	0.0044	15	0.737	0.80
0.066	42.40	0.33	0.0044	15	0.735	0.81
0.084	42.40	0.42	0.004	15	0.653	0.59
0.077	39.00	0.39	0.0038	15	0.625	0.61
0.066	35.20	0.33	0.0028	15	0.477	0.53
0.091	43.80	0.46	0.0046	20	0.751	0.67
0.089	43.00	0.45	0.0044	20	0.718	0.66

h (m)	x/D	h/p	Q _{ex} (m ³ /s)	A (degree)	C _{d,experiment}	C _{d, model}
0.084	42.80	0.42	0.004	20	0.654	0.64
0.077	38.80	0.39	0.0034	20	0.564	0.59
0.064	35.80	0.32	0.0026	20	0.707	0.56
0.121	52.80	0.61	0.0047	25	0.488	0.52
0.119	49.20	0.60	0.0043	25	0.467	0.46
0.116	48.00	0.58	0.004	25	0.472	0.43
0.106	46.00	0.53	0.0035	25	0.505	0.43
0.097	42.00	0.49	0.0026	25	0.478	0.35
0.131	50.00	0.66	0.0044	30	0.383	0.42
0.129	49.80	0.65	0.0044	30	0.397	0.43
0.124	48.20	0.62	0.0039	30	0.381	0.39
0.116	45.80	0.58	0.0033	30	0.391	0.36
0.107	42.20	0.54	0.0025	30	0.365	0.29
0.143	53.20	0.72	0.0044	35	0.305	0.37
0.14	52.60	0.70	0.0044	35	0.321	0.39
0.138	51.80	0.69	0.0039	35	0.299	0.33
0.13	49.20	0.65	0.0036	35	0.314	0.34
0.113	46.00	0.57	0.0026	35	0.314	0.31

ขั้นตอนที่ 2 เพิ่มข้อมูลเข้าสู่ระบบการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Excel โดยที่กดเมนู ข้อมูล และไปยังเมนู Data analysis แล้วไปที่ตัวเลือก Regression แล้วจะแสดงช่องให้เพิ่มข้อมูล ช่องแรก เพิ่มข้อมูล C_d ตัวแปรหลักที่จะทำการเขียนสมการขึ้นใหม่ และช่องที่สอง ให้คลุมข้อมูลทั้งของตัวแปร ที่มีอิทธิพลของค่า C_d ดังแสดงภาพภาคผนวกที่ 4

SUMMARY OUTPUT									
Regression Statistics									
Multiple R	0.919456								
R Square	0.845399								
Adjusted R	0.82773								
Standard Error	0.06528								
Observations	40								
ANOVA									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	4	0.815606	0.203901	47.84722	1.02E-13				
Residual	35	0.149153	0.004262						
Total	39	0.964758							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	0.383616	0.138447	2.770857	0.008891	0.102554	0.664679	0.102554	0.664679	
x/D	0.004437	0.00814	0.54508	0.589156	-0.01209	0.020963	-0.01209	0.020963	
h/p	-1.67374	0.325271	-5.1457	1.03E-05	-2.33408	-1.01341	-2.33408	-1.01341	
Qex (m3/s)	151.836	30.95082	4.905718	2.13E-05	89.00249	214.6695	89.00249	214.6695	
A (องศา)	0.008097	0.003965	2.042151	0.048728	4.78E-05	0.016146	4.78E-05	0.016146	

ภาพภาคผนวกที่ 4 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Excel

ขั้นตอนที่ 3 นำข้อมูลมาเรียบเรียงเขียนสมการใหม่ของค่า C_d และวิเคราะห์ข้อมูลการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $C_{d, model}$ กับ $C_{d, experiment}$ กรณีรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า และแสดงค่า ซึ่งมีค่า R^2 และวิเคราะห์หาค่า RMSE

สมการค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d ที่สันแบบหนา D กรณีรวมทุกรูปแบบ

สมการค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d ที่รวมทุกรูปแบบ

จะแสดงได้ดัง สมการที่ 15

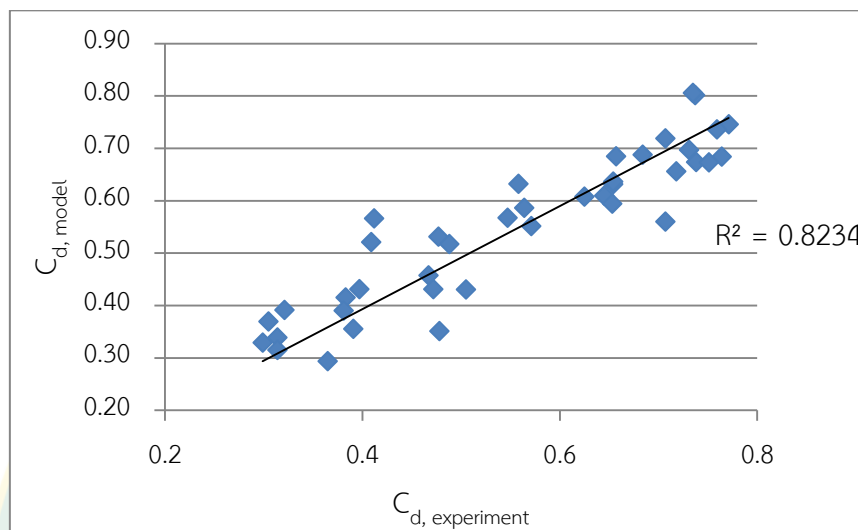
$$C_{d, model} = 0.383 + 0.0044(x/D) + 151.836Q + 0.008A - 1.673(h/P)$$

$$RMSE = 1.015$$

เมื่อ

- X คือ ระยะจุดตกของน้ำ m
- D คือ ความหนาของสันฝาย m
- A คือ มุมหน้าตัดของฝาย หรือค่า θ องศา

นำสมการมาแทนค่าเพื่อคำนวณหาค่า $C_{d, model}$ เพื่อทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C_{d, model}$ กับ $C_{d, experiment}$ ของสมการรวมทุกรูปแบบของฝายที่ทำการทดลอง แสดงดังกราฟดังต่อไปนี้



ภาพภาคผนวกที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $C_{d, model}$ กับ $C_{d, experiment}$ ทุกรูปแบบของฝายทำการทดสอบ

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $C_{d, model}$ กับ $C_{d, experiment}$ ทุกรูปแบบของฝายทำการทดสอบ มีเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างกันไปในทิศทางที่ดี ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8234 และค่า RMSE เท่ากับ 1.015



ภาคผนวก ค
ตารางแสดงข้อมูลในการทดสอบ

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลการทดสอบฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ความสูงสันฝาย P เท่ากับ 0.10 0.20 และ 0.30 m

P (m)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	Cd	E (J)
0.10	0.00172	0.0450	0.9500	92.36	0.450	0.00366	0.4699	0.0348
0.10	0.00287	0.0617	0.1092	92.11	0.617	0.00452	0.6337	0.0856
0.10	0.00397	0.0892	0.1283	91.96	0.892	0.00594	0.6686	0.1090
0.20	0.00205	0.0230	0.1617	92.14	0.115	0.00319	0.6416	0.2245
0.20	0.00287	0.0350	0.1600	92.62	0.175	0.00416	0.6895	0.2660
0.20	0.00377	0.0423	0.1608	92.04	0.212	0.00475	0.7941	0.4134
0.30	0.00282	0.0330	0.1033	92.92	0.110	0.00643	0.4378	0.1127
0.30	0.00307	0.0463	0.1400	92.86	0.154	0.00551	0.5570	0.1869
0.30	0.00410	0.0592	0.1916	93.76	0.197	0.00668	0.6132	0.2710

ตารางภาคผนวกที่ 3 ข้อมูลการทดสอบฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่กว้างของสันฝาย b เท่ากับ 0.17 0.19 และ 0.21 m

b (m)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	Cd	E (J)
0.17	0.0048	0.064	0.188	104.87	0.322	0.0065	0.7361	0.4614
0.17	0.0043	0.064	0.184	108.43	0.318	0.0065	0.6676	0.3428
0.17	0.0041	0.052	0.163	144.33	0.262	0.0056	0.7328	0.4252
0.17	0.0036	0.055	0.173	99.44	0.277	0.0058	0.6177	0.2588
0.17	0.0026	0.045	0.159	96.70	0.225	0.0050	0.5193	0.1461
0.19	0.0043	0.058	0.174	108.95	0.292	0.0060	0.7166	0.3289
0.19	0.0044	0.058	0.170	103.78	0.288	0.0060	0.7361	0.3552
0.19	0.0041	0.055	0.166	103.46	0.273	0.0057	0.7106	0.3143
0.19	0.0034	0.047	0.144	98.17	0.237	0.0052	0.6571	0.2393
0.19	0.0025	0.038	0.138	96.24	0.192	0.0044	0.5585	0.1422
0.21	0.0044	0.054	0.166	114.85	0.268	0.0057	0.7714	0.3273

b (m)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	C_d	E (J)
0.21	0.0043	0.053	0.163	116.38	0.265	0.0056	0.7598	0.3116
0.21	0.0039	0.050	0.159	104.71	0.250	0.0054	0.7318	0.2741
0.21	0.0032	0.044	0.148	114.72	0.218	0.0049	0.6546	0.1906
0.21	0.0024	0.036	0.119	99.68	0.182	0.0043	0.5714	0.1241

ตารางภาคผนวกที่ 4 ข้อมูลการทดสอบฝายที่มุมพื้นที่หน้าตัดของฝาย A ที่ 0 5 10 15 20 25 30 และ 35 องศา

A (องศา)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	C_d	E (J)
0	0.0044	0.054	0.166	114.85	0.268	0.0057	0.771	0.3273
0	0.0043	0.053	0.163	116.38	0.265	0.0056	0.759	0.3116
0	0.0039	0.050	0.159	104.71	0.250	0.0054	0.731	0.2741
0	0.0032	0.044	0.148	114.72	0.218	0.0049	0.654	0.1906
0	0.0024	0.036	0.119	99.68	0.182	0.0043	0.571	0.1241
5	0.0044	0.065	0.195	113.36	0.325	0.0062	0.707	0.3979
5	0.0042	0.064	0.184	117.65	0.322	0.0062	0.684	0.3694
5	0.0041	0.062	0.179	116.80	0.312	0.0062	0.657	0.3445
5	0.0034	0.054	0.164	117.33	0.270	0.0061	0.558	0.2720
5	0.0025	0.044	0.149	117.94	0.222	0.0060	0.412	0.1549
10	0.0047	0.081	0.210	102.71	0.405	0.0062	0.764	0.6022
10	0.0046	0.080	0.206	102.63	0.398	0.0062	0.738	0.5593
10	0.0039	0.074	0.197	102.87	0.370	0.0061	0.645	0.4225
10	0.0033	0.067	0.186	103.45	0.333	0.0061	0.547	0.3090
10	0.0024	0.054	0.165	103.59	0.272	0.0059	0.409	0.1851
15	0.0044	0.064	0.188	97.79	0.322	0.0060	0.737	1.0381
15	0.0044	0.066	0.212	99.41	0.328	0.0060	0.735	1.0217
15	0.0040	0.084	0.212	99.62	0.418	0.0061	0.653	0.4988
15	0.0038	0.077	0.195	99.53	0.385	0.0061	0.625	0.5052

A (องศา)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	C_d	E (J)
15	0.0028	0.066	0.176	100.44	0.328	0.0060	0.477	0.3006
20	0.0046	0.091	0.219	99.03	0.455	0.0062	0.751	0.6848
20	0.0044	0.089	0.215	99.20	0.447	0.0062	0.718	0.6217
20	0.0040	0.084	0.214	99.46	0.418	0.0061	0.654	0.5224
20	0.0034	0.077	0.194	99.13	0.385	0.0061	0.564	0.3854
20	0.0026	0.064	0.179	101.13	0.318	0.0059	0.707	0.2485
25	0.0047	0.121	0.264	93.00	0.6050	0.0095	0.488	0.1180
25	0.0043	0.119	0.246	92.87	0.5950	0.0091	0.467	0.1237
25	0.0040	0.116	0.240	92.88	0.5783	0.0085	0.472	0.0957
25	0.0035	0.106	0.230	93.05	0.5300	0.0069	0.505	0.0896
25	0.0026	0.097	0.210	93.04	0.4867	0.0055	0.478	0.0484
30	0.0044	0.131	0.250	93.24	0.6533	0.0116	0.383	0.1608
30	0.0044	0.129	0.249	93.24	0.6450	0.0112	0.397	0.1679
30	0.0039	0.124	0.241	93.28	0.6217	0.0102	0.381	0.1295
30	0.0033	0.116	0.229	93.33	0.5783	0.0085	0.391	0.1041
30	0.0025	0.107	0.211	93.40	0.5333	0.0070	0.365	0.0638
35	0.0044	0.143	0.266	85.89	0.7150	0.0145	0.305	0.1966
35	0.0044	0.140	0.263	85.77	0.6983	0.0137	0.321	0.1811
35	0.0039	0.138	0.259	85.77	0.6883	0.0132	0.299	0.1671
35	0.0036	0.130	0.246	85.72	0.6500	0.0114	0.314	0.1382
35	0.0026	0.113	0.230	85.42	0.5667	0.0081	0.314	0.0877

ตารางภาคผนวกที่ 5 ข้อมูลการทดสอบฝายที่ความหนาของสันฝาย D เท่ากับ 3 15 และ 25 mm

D (mm)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	C_d	E (J)
3	0.0044	0.052	0.164	97.98	0.262	0.0056	0.8011	0.364
3	0.0043	0.051	0.164	97.87	0.255	0.0054	0.7823	0.337
3	0.0039	0.048	0.160	97.26	0.242	0.0052	0.7474	0.290

D (mm)	Q_{ex} (m^3/s)	h (m)	X (m)	θ (degree)	h/p	Q_{th} (m^3/s)	C_d	E (J)
3	0.0035	0.044	0.148	95.87	0.220	0.0049	0.7120	0.246
3	0.0026	0.036	0.133	94.57	0.178	0.0042	0.6089	0.150
15	0.0047	0.054	0.151	143.41	0.272	0.0057	0.8172	0.390
15	0.0043	0.053	0.150	104.75	0.267	0.0056	0.7705	0.326
15	0.0039	0.050	0.145	99.16	0.252	0.0054	0.7323	0.275
15	0.0035	0.045	0.135	98.46	0.223	0.0049	0.7090	0.243
15	0.0025	0.035	0.117	100.80	0.177	0.0042	0.6001	0.144
25	0.0047	0.057	0.142	143.25	0.283	0.0059	0.7888	0.356
25	0.0045	0.055	0.140	110.05	0.275	0.0058	0.7831	0.345
25	0.0041	0.052	0.136	102.92	0.260	0.0055	0.7476	0.295
25	0.0035	0.046	0.126	63.93	0.232	0.0051	0.6966	0.232
25	0.0027	0.040	0.127	120.56	0.198	0.0045	0.5904	0.138

ตารางภาคผนวกที่ 6 ข้อมูลการทดสอบค่าพลังงานของน้ำ E ผ่านฝายน้ำล้นแบบสันหนา

D (mm)	b (m)	h (m)	A (m^2)	Q (m^3/s)	V (m/s)	E (J)
3	0.21	0.052	0.0110	0.0044	0.4049	0.364
3	0.21	0.051	0.0107	0.0043	0.3979	0.337
3	0.21	0.048	0.0102	0.0039	0.3853	0.290
3	0.21	0.044	0.0092	0.0035	0.3763	0.246
3	0.21	0.036	0.0075	0.0026	0.3424	0.150
15	0.21	0.054	0.0114	0.0047	0.4093	0.390
15	0.21	0.053	0.0112	0.0043	0.3877	0.326
15	0.21	0.050	0.0106	0.0039	0.3737	0.275
15	0.21	0.045	0.0094	0.0035	0.3732	0.243
15	0.21	0.035	0.0074	0.0025	0.3385	0.144
25	0.21	0.057	0.0119	0.0047	0.3913	0.356
25	0.21	0.055	0.0116	0.0045	0.3911	0.345
25	0.21	0.052	0.0109	0.0041	0.3784	0.295

D (mm)	b (m)	h (m)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	E (J)
25	0.21	0.046	0.0097	0.0035	0.3631	0.232
25	0.21	0.040	0.0083	0.0027	0.3214	0.138





ภาคผนวก ง
บทความวิจัยที่ได้เผยแพร่ในระดับชาติและนานาชาติ

การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10

พลังงานยุคเปลี่ยนผ่าน

เล่าขานวิถีพอเพียง หล่อเลี้ยงชุมชนยั่งยืน

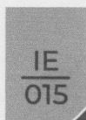
New Era of Community Energy



ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ร่วมจัดโดย





อิทธิพลของมุมของฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย
Effects of Angle of Trapezoid Shape a Weir to Discharge Coefficient the flow of
water

นัสรู ตือจ๊ะ¹ รจพรรณ นิรัยศิลป์¹ ชูรัตน์ ธารารักษ์¹และธนศ โยชนะ¹

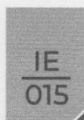
¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ที่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาอิทธิพลของมุมฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ส่งผลต่อลักษณะการไหลของน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านฝาย ทั้งนี้ เป็นฝายแบบสันกว้าง โดยทำการศึกษาในอุโมงค์น้ำแบบทางน้ำไหลแบบเปิด ในระหว่างการทดลองได้ทำการตรวจวัดค่า อัตราการไหล ความสูงของน้ำเหนือฝาย ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย มุมการบิบัติของน้ำ และทำการคำนวณอัตราการไหลจากสมการเชิงทฤษฎีและจากการทดลอง จากนั้นทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ผลการศึกษาพบว่า องศาของมุมมากขึ้น เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ระยะจุดตกของน้ำหลังฝายจะมีค่ามากขึ้น องศาการบิบัติการตกของน้ำสำหรับฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าอยู่ในช่วง 92-94 องศา และ 98-120 องศา ตามลำดับ และองศาของมุมที่ $A = 0, 5, 10$ และ 15 องศา ส่งต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่เปิดวาล์วที่ 100 % เท่ากับ 0.8933 0.8507 0.7394 และ 0.6443 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีมุมน้อยที่สุด ($A=0$ degree) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8933 และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีมุมมากที่สุด ($A=15$ degree) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6443

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู พื้นที่หน้าตัด

* Corresponding author: Tel.: 0815406768. E-mail address: tanatecha@hotmail.com



บทนำ

ปัจจุบันพลังงานทดแทนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นพลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนทิ้ง พลังงานชีวมวล และพลังงานชีวภาพ ซึ่งพลังงานทดแทนถูกคิดค้นขึ้นมา ในการใช้พลังงานต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พลังงานน้ำเป็นพลังงานทดแทนที่อยู่ในแผนการ พัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 ของประเทศไทย (AEDP2015) โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานขนาดเล็กต้องการเพิ่ม 142.01 MW [1] เมื่อได้สิ้นสุดแผน

ในการประเมินศักยภาพของพลังงานน้ำต้องทราบอิทธิพลของค่าคุณลักษณะต่างๆของกระแสการไหลของน้ำในทางน้ำไหล เช่น พื้นที่หน้าตัดการไหล อัตราเร็วของกระแสการไหล อุณหภูมิ ความลาดชันของทางน้ำไหล ความสูงของหน้าน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้ปริมาณดังกล่าวจะต้องถูกสำรวจเพื่อนำมาใช้ในการ ประเมินปริมาณพลังงานของน้ำในทางน้ำไหลนั้น นั้น สำหรับ ทางน้ำไหลแบบเปิดที่มีขนาดใหญ่ การวัดอัตราการไหลจะดำเนินการได้ยาก ต้องมีเครื่องมือวัดค่าต่างๆ ที่เหมาะสม ทั้งนี้ ในหลักการของการชลประทานที่มีการติดตั้งฝายน้ำล้น สามารถหาการคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นได้ โดยตรวจวัดค่าลักษณะการไหลต่างๆ เช่น ความกว้างของสันฝาย ความสูงของน้ำเหนือฝาย เป็นต้น ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะสะดวก ในการประเมินอัตราการไหลของน้ำแต่ก็ยังมีค่าที่คลาดเคลื่อนจากค่าจริง ดังนั้นในการที่จะทำการคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นได้ โดยตรวจวัดค่าลักษณะการไหลต่างๆ ต้องทำการพิจารณาหาความสัมพันธ์อัตราการไหลเพื่อนำมาใช้ในการปรับแก้ค่าจากการคำนวณให้มีค่าที่แม่นยำมากขึ้น โดยความสัมพันธ์อัตราการไหลจะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะทางกายภาพของฝายน้ำล้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา อิทธิพลของมุมที่ไหลผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ส่งผลต่อลักษณะการไหลและสัมพันธ์อัตราการไหลของน้ำที่เป็นฝายแบบสันกว้าง โดยทางการศึกษาในอุโมงค์น้ำแบบเปิด

วิธีการวิจัย

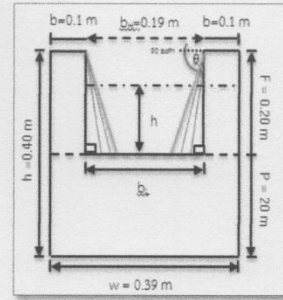
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ออกแบบและสร้างฝายน้ำล้นรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและ สี่เหลี่ยมคางหมูดังแสดงในภาพที่ 1 โดยสร้างจากแผ่น อะคริลิกใสหนา 0.5 cm แสดงดังตารางที่ 1

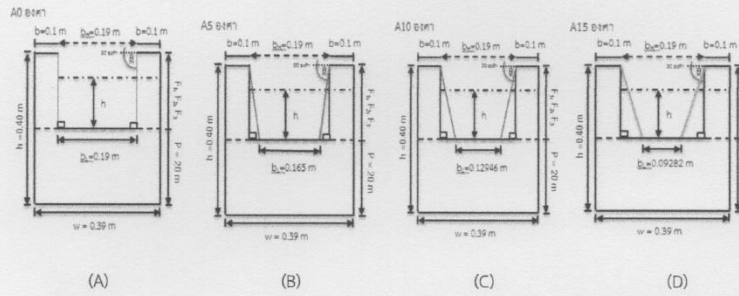


ตารางที่ 1 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของการออกแบบฝายน้ำล้น

คำอธิบายและสัญลักษณ์	ขนาดและหน่วย
ความกว้างของฝายที่ต่ำ (W_L)	0.39 m
ความสูงของฝาย (H)	0.40 m
ความสูงของสันฝาย (p)	0.20 m
ความสูงเหนือสันฝาย (F)	0.20 m
ทำการเปลี่ยนมุมของหน้าตัดของฝายแกน x คือ ความสูงของสันฝาย (F) และแกน y คือ ความสูงเหนือสันฝาย ($b_{y,i}$) มี 4 ค่า	คือ 0, 5, 10 และ 15 องศา
ความกว้างของสันฝายที่ต่ำ ($b_{x,i}$) มี 4 ค่า	0.115 m 0.095 m 0.075 m

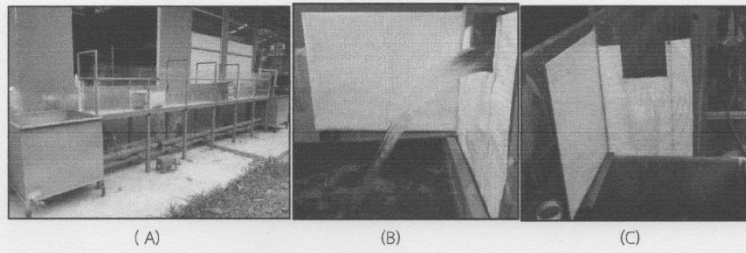
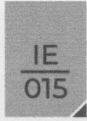


ภาพที่ 1 แสดงลักษณะฝายรวมของฝายน้ำล้นที่ A ใดๆ



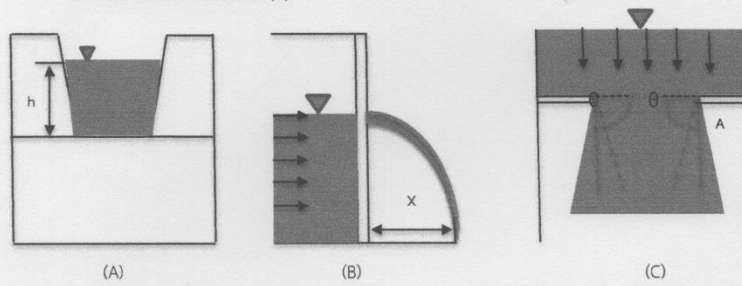
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของเสาของฝายน้ำล้นที่ (A) 0 องศา (B) 5 องศา (C) 10 องศา (D) 15 องศา

2. ติดตั้งฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีองศาการทิ่มมุมที่แตกต่างกันของแต่ละฝายในอุโมงค์น้ำ (สร้างจริง) เพื่อทำการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 (A) อูโมงค์น้ำแบบเปิด (B) มุมมองด้านข้าง (C) มุมมองด้านหน้า (มุมมองของฝายติดตั้งกับอูโมงค์น้ำแบบเปิด)

3. ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้น ดังแสดงดังภาพที่ 4 ประกอบด้วย
- ความสูงของน้ำเหนือฝาย (h)
 - ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย (x)
 - องศาการบิดการตกของน้ำ (A)



ภาพที่ 4 ค่าลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้น (A) ด้านหน้า (B) ด้านข้าง (C) ด้านบน

4. วิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าลักษณะการไหลกับค่าอัตราการไหล
 5. วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d โดยอาศัย สมการที่ 1-3 [2]

$$Q_{\text{experiment}} = C_d Q_{\text{theoretical}} \tag{1}$$

โดยที่

$$Q_{\text{theoretical}} = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left(h^{\frac{3}{2}} \right) \tag{2}$$

สมการสำหรับฝายน้ำล้นรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$Q_{\text{theoretical}} = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left(h^{\frac{3}{2}} \right) + \frac{8}{15} C_d \left(h^{\frac{5}{2}} \right) \sqrt{2g \tan^2 \frac{A}{2}} \quad (3)$$

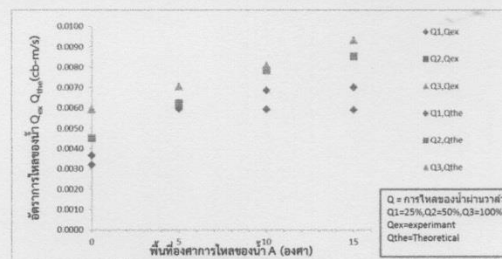
สมการสำหรับฝายน้ำล้นรูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

เมื่อ b คือ ความกว้างของหน้าฝาย (m) h คือ ความสูงของน้ำเหนือฝาย (m) A คือ มุมของฝาย (องศา)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. อัตราการไหลของน้ำ

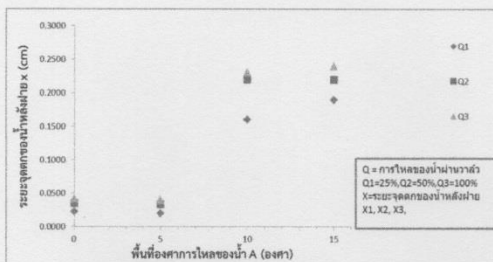
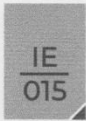
อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ความสูงของน้ำเหนือฝายมีค่าสูงขึ้นในทุกรูปแบบของฝาย โดยอัตราการไหลสูงขึ้นของน้ำเหนือฝายเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของสันฝายที่ทำมุมองศาที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นทำให้พื้นที่หน้าตัดของสันฝายลดลง จะเห็นได้ว่า พื้นที่ตัดที่มุมองศาเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำ $Q_{\text{experiment}}$ กับ $Q_{\text{theoretical}}$ กับพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ A

2. ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย

เมื่อพื้นที่หน้าตัดของสันฝายที่ทำมุมองศาเพิ่มขึ้น ที่ทุกรูปแบบของฝาย ระยะจุดตกของน้ำหลังฝายจะมีค่ามากขึ้นโดยฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะอัตราการเพิ่มขึ้นของระยะตกที่มากกว่าฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเนื่องจากรูปทรงฝายที่ความกว้างสันฝายด้านล่างน้อยกว่าด้านบนจึงเกิดลักษณะของการบีบอัดน้ำ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจุดตกของน้ำกับพื้นที่หน้าตัดของสันฝายแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะจุดตกของน้ำหลังเส้นผ้าย X กับพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ A

3.การบีบอัดการตกของน้ำ

องศาการบีบอัดการตกของน้ำสำหรับผ้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (A=0 degree) มีค่าอยู่ในช่วง 92-94 องศา ส่วนกรณีของผ้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (A= 5 10 15 degree) มีค่าอยู่ในช่วง 98-120 องศา ทั้งนี้องศาการบีบอัดการตกของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านผ้ายเพิ่มขึ้น แต่เป็นการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

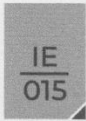
4.สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ

นำค่าอัตราการไหลเชิงคำนวณ สมการที่ 2 ใช้ในกรณีผ้ายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (A=0 degree) และสมการที่ 3 ใช้ในกรณีผ้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (A= 5 10 15 degree) ค่าอัตราการไหลจากการทดลอง มาทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของผ้ายทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านผ้ายที่ทำมุมน้อยที่สุด A= 0 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.7989 (กรณีเปิดวาล์ว 100%) และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านผ้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ A= 5 10 15 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8507 0.7394 0.6443 (กรณีเปิดวาล์ว 100%) ดังแสดงค่าในตารางที่ 2 ทั้งนี้จากค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านผ้ายทั้ง 2 รูปแบบมีค่าต่างกันแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดการทดสอบ โดยใช้สมการอัตราการไหลจากการทดสอบ ดังสมการที่ (4) เป็นสมการอัตราการไหลกรณีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และสมการที่ (5) เป็นสมการอัตราการไหลกรณีผ้ายรูปสี่เหลี่ยมคาง

$$Q_{\text{experiment}} = 0.00134 + (0.10948h) - \left(0.00579 \frac{h}{p}\right) \tag{4}$$

และ

$$Q_{\text{experiment}} = \left(0.001818 \frac{h}{p}\right) + \left(0.0013918 \frac{b}{w}\right) - 0.00505 \tag{5}$$



4.สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ

นำค่าอัตราการไหลเชิงคำนวณ สมการที่ 2 ใช้ในกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า (A=0 degree) และสมการที่ 3 ใช้ในกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (A= 5 10 15 degree) ค่าอัตราการไหลจากการทดลอง มาทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่ทำมุมน้อยที่สุด A= 0 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.7989 (กรณีเปิดวาล์ว 100%) และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ A= 5 10 15 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8507 0.7394 0.6443 (กรณีเปิดวาล์ว 100%) ดังแสดงค่าในตารางที่ 2 ทั้งนี้จากค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายทั้ง 2 รูปแบบมีค่าต่างนั้นแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดการทดสอบ โดยใช้สมการอัตราการไหลจากการทดสอบ ดังสมการที่ (4) เป็นสมการอัตราการไหลกรณีรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า และสมการที่ (5) เป็นสมการอัตราการไหลกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมคาง

$$Q_{\text{experiment}} = 0.00134 + (0.10948h) - (0.00579 \frac{h}{p}) \tag{4}$$

และ

$$Q_{\text{experiment}} = (0.001818 \frac{h}{p}) + (0.0013918 \frac{h}{w}) - 0.00505 \tag{5}$$

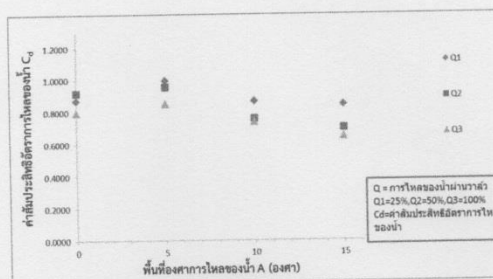
ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

Q _{เปิดวาล์ว %}	A (องศา)	Q _{experiment}	Q _{theoretic al.}	Cd
Q1 เปิด 25%	0	0.0032	0.00366	0.8719
	5	0.0060	0.00599	0.9945
	10	0.0059	0.00685	0.8643
	15	0.0059	0.00700	0.8425
Q2 เปิด 50%	0	0.0045	0.00452	0.9195
	5	0.0062	0.00625	0.9548
	10	0.0079	0.00786	0.7587
	15	0.0085	0.00853	0.7004

Q3 เปิด 100%	0	0.0059	0.00594	0.7989
	5	0.0070	0.00705	0.8507
	10	0.0081	0.00807	0.7394
	15	0.0093	0.00933	0.6443

เมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ C_d จะนำค่ามาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกับค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ A จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q) และพื้นที่หน้าตัด(A)เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ C_d ลดลงตามไปด้วย แสดงดังภาพที่ 7

IE
OT5



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ C_p กับพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ A

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของมุมที่ไหลผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ส่งผลต่อลักษณะการไหลและสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่เป็นฝายแบบสันกว้าง สามารถสรุปได้ดังนี้

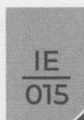
1. มุมเพิ่มขึ้นทำให้ความสูงของน้ำเหนือฝายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
2. ที่ทุกรูปแบบของฝาย ระยะตกของน้ำหลังฝายจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น โดยฝายรูปมุมของฝายองศามาก (ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู) จะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของระยะตกที่มากกว่า ฝายที่ทำมุมน้อยกว่า (ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู)
3. องศาการบีบอัดการตกของน้ำสำหรับฝายที่ทำมุม A= 0 องศา มีค่าอยู่ในช่วง 92-94 องศา ส่วนกรณีของฝายที่ทำมุม A= 5 10 15 องศา มีค่าอยู่ในช่วง 98-120 องศา
4. สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (A=0 degree) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.7989 และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (A=5 10 15 degree) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6443

ข้อเสนอแนะ

เนื่องด้วยสมการที่ใช้เป็นฝายสันคม แต่ในงานวิจัยนี้ฝายเป็นแบบสันหนาที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อน อีกทั้งในปัจจุบันยังไม่มีสมการสำหรับการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่เป็นสันหนา ซึ่งจะต้องหาการพัฒนาสมการต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

- โครงการอุโมงค์น้ำแบบเปิด สำหรับการทดสอบทางด้านชลศาสตร์พลังงานน้ำและค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำสัน ที่สนับสนุนอุโมงค์น้ำสำหรับการทดลอง
- วิทยาลัยพลังงานทดแทน ที่สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัยแก่นักศึกษา



เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579” (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015) วันที่ 28 ก.ค. 2559 (วันที่สืบค้น 1 กรกฎาคม 2560)
- [2] ปราโมท พลพจนานารี และคณะ, “หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน”, การจัดการความรู้ตามแผนการจัดการความรู้เพื่อสนับสนุนประเด็นยุทธศาสตร์กรมชลประทานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554, 2554
- [3] ผศ.ดร.ปรียาพร โกษา, “สถิตยศาสตร์วิศวกรรม”, ชลศาสตร์ (Hydraulics)
- [4] Gharahjeh S, Aydin, Altan-Sakarya A.B. **Weir velocity formulation for sharp-crested rectangular weirs.** (2015), Flow Measurement and Instrumentation 41, pp 50–56.
- [5] Farzaneh N, Davood F, Mohammad A. **Discharge coefficient for trapezoidal side weir.** (2015), Alexandria Engineering Journal 54, pp 595–605.
- [6] Hamid Saadatnejadgharahassanlou A, Amin Gharehbaghi B, Saeid Mehdizadeh C, **Experimental investigation of discharge coefficient over novel kind of sharp-crested V-notch weir.** (2017), Birol Kayad, Javad Behmaneshe, C 236–242.
- [7] Siamak Gharahjeh, Ismail Aydin. **Application of video imagery techniques for low cost measurement of water surface velocity in open channels.** (2016), Civil Engineering Department, Flow Measurement and Instrumentation 51, 79–94.



STISWB 2018
Proceedings of
the **10th** International Conference on Science,
Technology and Innovation for Sustainable Well-Being **2018**



"Moving Towards Smart and Sustainable Technologies"
11th – 13th July, 2018
Don Chan Palace Hotel & Convention
Vientiane, Lao PDR.

Organized by:
The Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon



Experimental Determination of Discharge Coefficient of Through Rectangle Trapezoid Shape and Triangle Weir

Nasru Tuenga¹, Rotjapun Nirunsin¹, Churat Thararux¹, and Tanate Chaichana^{1*}

¹College of Alternative Energy Maejo University 63 Moo 4, Nongbua Sub-District, San Sai District, Chiang Mai 50290

* Contact: E-mail; tanatecha@hotmail.com, telephone number 0815406768

Abstract—This research objective to study the effect of weir model on the flow characteristics of water and discharge coefficient of flowing through rectangular trapezoidal and triangular weir. The study was conducted three format in to open-water tunnels. During the experiment, this will measured the discharge of water Q , the height of the water overflow weir h , the point of water fall after weir x , compression angle of water θ , the Calculate discharge of water Q from experiment and theoretical to induct calculate the discharge coefficient. The study indicated that through rectangular trapezoidal and triangles. At the through rectangular weir $b_1 = 0.17$ 0.19 and 0.21 m trapezoidal weir $A = 5$ 10 15 and 20 degree and the triangular weir $W_n = 0.05$ 0.075 and 0.105 m. The weir ratio with water level above weir h/p increased. Effect on discharge coefficient C_d decreases. This is rectangular and triangular weir, and then it will increased, this is trapezoidal weir. The weir ratio with water level above weir h/p increased. Effect on discharge of water Q increased, this is rectangular and trapezoidal weir. Then it will decreases, this is triangular weir. Effect to discharge coefficient of each weir pattern that open water of flow at 100% as 0.7714 0.7635 and 0.5052, respectively. at the had a high slit width $W_n = 0.105$ m. the discharge coefficient the flowing of triangular weir with an average 0.5052 and at the width of the weir $b_1 = 0.21$ m, the discharge coefficients the flowing of through rectangular weir with an average 0.7714. Experimental determination of discharge coefficient of through rectangular weir is the best. But it must be developing formulae for the better of thick-crested weir to discharge coefficient.

Keywords— discharge coefficient Rectangular dam Trapezoid Triangle Cross-sectional area thick-crested

I. INTRODUCTION

Weirs is an engineering structure that matches the flow of water and usually results in a change in the height of the river level. Therefore, the important role of the structure is to ensure the safety. Weir have been used for centuries by hydraulic engineers for flow measurements, regulation of flow depth, energy dissipation, flow, and flow diversion [1,2]. Weirs have many types (i.e., water overflow weir, sharp-crested weir, narrow-crested weir, fayoum weir, submerged weir, broad-crested weir, ogee weir, ordinary weir, and rectangular weir). Weirs are overflow structures

for flow measurements discharge coefficient and controlling flow in open channels [3]

Weirs are the variety of different structures that are used to control the flow of water. Insufficient capacity of weirs has been the cause of one-third of weir failures[4]. For a specific head width and thickness, Therefore, the important role experimental for flow measurements theory of discharge coefficient with different structures. Weirs are overflow have many types of determination (i.e., Through Rectangle Weir, Trapezoid Shape Weir and Triangle Weir). flow measurements of discharge coefficient might be increased and depreciate the discharge capacity of the determination.

Nikou et al. (2016) derived an analytical method for estimating the discharge coefficient of a pivot weir for both free and submerged flow conditions using only the Bernoulli equation. The validation of this relation with experimental data showed $\pm 20\%$ error, which indicates, Insufficient accuracy in estimating the discharge coefficient [5]. Di Stefano et al. (2016) conducted research using previous experimental results to estimate the weir discharge coefficient in order to provide a general discursive equation for estimating the discharge coefficient for complex types of weir. The validation of this equation with the experimental results shows a $\pm 10\%$ relative error [6]. Seyyed Mojtaba Azimfar et al (2018) A review of previous studies shows that most researchers used experimental equations to estimate the pivot weir discharge coefficient with a focus on vertical sharp-edge weirs. These investigations impose numerous experimental coefficients in a hypothetical regression form for estimating the discharge coefficient. The downside of such assumption is that assuming a regression form is not always realistic and may not provide acceptable accuracy.[7]

All the aforementioned researchers studied the using previous experimental results to estimate the weir discharge coefficient in order to provide a general discursive equation for estimating the discharge coefficient for complex types of characteristics determination weir. In order to study Experimental determination of discharge coefficient of through rectangle trapezoid shape and triangle weir.

II. RESEARCH METHODOLOGY

Conducted water tunnel and determination of weirs design. that are been used solid work program because be a model to manufacture. After that Install weirs are overflow design for measuring flow measurements with data collection . Bring information to Calculations from equation to find the flow rate of water from experimental results to provide for each types of weir. The validation and analyze with theory and experimental determination of discharge coefficient of weirs.

A. Weir design

1) Design and construct are the through rectangular trapezoidal and triangular weir. As shown in Fig.1 Acrylic clear 0.5 cm thick height of weir $H = 0.40$ m and width of weir $W_1 = 0.39$ m

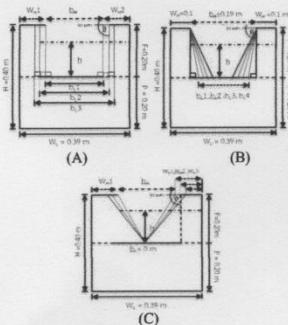


Fig. 1. shows the pattern of the weir (A) the through rectangular weir, (B) the trapezoid weir and (C) the triangular weir.

TABLE I. EXPLANATION OF SYMBOLS THAT SIZE OF OVERFLOW WEIR AT DESIGN AND ANOTHER TYPES OF WEIR.

Explanation and symbols	Size and unit
low width that weir (W_1)	0.39 m
height weir (H)	0.40 m
height overflow of weir (p)	0.20 m
height overflow above of weir (F)	0.20 m
Rectangular weir	
The width of overflow weir at low. (b_1) there are 3 values	0.17 0.19 0.21 m
Trapezoidal weir	
Gross sectional area (A) there are 4 values	5 10 15 20 degree
Triangular weir	
The width of overflow weir at high (W_H) there are 3 values	0.05 0.075 0.105 m

2) Install an overflow weir with different of weir types on front of open water tunnel.



Fig. 2. Open water tunnel with width 0.39 m, high 0.40 m, and long 4.80 m



Fig. 3. shows the actual to water overflow of weir

B. Data collection

1) Test and collect water flow data through water overflow weir. There is a measuring set of weir testers, which is shown in Fig.4.

- height of the water above the weir (h)
- distance Fall point of water overflow weir (x)
- Compression ratio the water overflow weir (A)
- Width of water overflow river mouth (N)

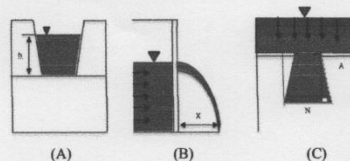


Fig. 4. Flow Characteristics of Water Through Overflow weir (A) Front (B) Side (C) Top

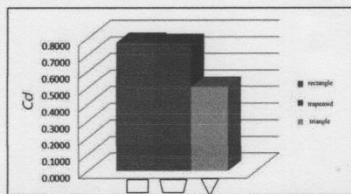


Fig. 9. The relation between the discharge coefficient C_d and the weir model.

RESEARCH RESULT

The study have aimed to effect of h/p as Affect characteristics discharge of water Q and the discharge coefficients through the rectangular weir Trapezoid weir and trapezoid weir the thick-crested weirs. Can be summarized as follows.

1. The proportion of h/p increases. the discharge coefficients decrease. At the same time, the discharge of water Q increases. This case is specifically a rectangular weir

2. The proportion of h/p increases. the discharge coefficients increase. At the same time, the discharge of water Q increases. This case is specifically a triangular weir.

3. The proportion of h/p increases. the discharge coefficients decrease. At the same time, the discharge of water Q decreases. The case is specifically to trapezoidal weir.

4. At all forms of weir The distance Fall point of water overflow weir x will be increases when the discharge of water Q increases and the area of the weir decreases. The rectangular weir will have a minimum fall of $x=0.119$ m and the triangular weir will have a maximum fall of $x=0.266$ m.

5. Compression of drop point for rectangular weir values in the range of 96-144 degrees. triangular weir values range at 97-117 degrees, and trapezoidal weir. values are in the range of 96-124 degrees.

6. The discharge coefficient through the rectangular weir. this have Average $C_d=0.7714$, the triangular weir this have Average $C_d=0.7640$ and trapezoidal weir this have Average $C_d=0.5052$. Appear, the discharge coefficient through the triangular weir. The best value at average 0.7714.

ACKNOWLEDGMENTS

- Open water tunnel project for hydraulics, water power and measuring discharge of water. The water tunnel support for the experiment.
- School of Renewable Energy, the support for student the proceed research

REFERENCE

- [1] G. Abouzeid, Improvement of the hydraulic performance of sharp-crested side weirs in circular channels. In: English International Water Technology Conference, IWTC8 2004, Egypt, 2004, pp. 499-509
- [2] W. Boiten, Flow measuring structures, Delft Hydraulics, Publications number 478, August 1993.
- [3] R.S. Khurmi, A Text Book of Hydraulics, Fluid Mechanics and Hydraulic Machines, 12 ed., 1982
- [4] A. Schleichs, From Labyrinth to Piano Key Weirs—A Historical Review. Labyrinth and Piano Key Weirs, CRC Press, London, 2011, pp. 3-15.
- [5] N.S.R. Nikou, M.J. Monem, K. Safavi, Extraction of the flow rate equation under free and submerged flow conditions in pivot weirs with different side contractions, *Irrig. Drain. Eng.* (2016), [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001027\(04016025\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001027(04016025)).
- [6] C. Di Stefano, V. Ferro, M. Bijankhan, New theoretical solution of the out flow process for a Weir with complex shape, *J. Irrig. Drain. Eng.* (2016) doi: 10.1061 (ASCE) IR.1943-9774.0001045.
- [7] Seyyed Abbas Hosseini, Seyyed Mojtaba Azimfar "Derivation of discharge coefficient of a pivot weir under free and submergence flow conditions, Department of Civil Engineering, Science and Research, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Volume 59, March 2018, Pages 45-51, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.11.010>
- [8] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, "Alternative Energy Development Plan (AEDP2015) 28 July 2016 2560)
- [9] Pramote et al., "The Principles for Calculating Irrigation Water through Irrigation", Knowledge Management in Knowledge Management Plan to Support Strategic Issues, Royal Irrigation Department, Fiscal Year 2011
- [10] Asst.Prof.Dr.Peeraporn Kosa, "Surge Engineering", Hydraulics
- [11] Ferrari A, (2010), SPH simulation of free surface flow over a sharp-crested weir, *Advances in Water Resources* 33, pp 270-276
- [12] Rahimpour, Keshavarz M, Zohreh, Ahmadi, M-M. (2011), Flow over trapezoidal side weir, *Flow measurement and Instrumentation* 22, pp 507-510
- [13] Zahiri A, Azamathulla H.Md, Bagheri S. Discharge coefficient for compound sharp crested side weirs in subcritical flow conditions (2013), *Journal of Hydrology* 480, pp 162-166
- [14] Gharahjeh S, Aydin, Altan-Sakarya A.B. Weir velocity formulation for sharp-crested rectangular weirs (2015), *Flow Measurement and Instrumentation* 41, pp 50-56
- [15] Burcu Altan-Sakarya A, Ismail Aydin, Cigdem Sismanb. Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs (2011), *Flow Measurement and Instrumentation* 22, pp 144-151
- [16] Farzaneh N, Davood F, Mohammad A. Discharge coefficient for trapezoidal side weir (2015), *Alexandria Engineering Journal* 54, pp 595-605
- [17] Yousef Sangse fidia, Mojtaba Mehraeinb, Masoud Ghodsian, "Experimental study on flow over in-reservoir arced labyrinth weirs", Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, 14115-397 Tehran, Iran 59(2018) 215-224, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2017.12.002>
- [18] Ahmed M. El-Belasy, "Developing Formulae for combined weir and orifice" (case study: EL-Fayoum weirs), Hydraulics Research Institute, National Water Research Centre, Egypt., Available online 15 September 2013, www.elsevier.com/locate/asj.

C. Calculations from equation

analytical method for estimating the discharge coefficient of water overflow weir for experimental results to measuring discharge and controlling flow in open water tunnel. The data is analyzed for the discharge of water From the experiment (Q_{measure}) and the discharge of water From theoretical ($Q_{\text{theoretical}}$) Take this two values for find the discharge coefficient.

- 1) Analyze the discharge coefficient with discharge of data from experimental. As shown in equations (1).
- 2) Calculate the discharge coefficient C_d based on equations 1-4. [9]

$$Q_{\text{measure}} = C_d Q_{\text{theoretical}} \quad (1)$$

by

$$Q_{\text{theoretical}} = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left(h \frac{3}{2} \right) \quad (2)$$

Equation for Overflow weir of through rectangular.

$$Q_{\text{theoretical}} = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left(h \frac{3}{2} \right) + \frac{8}{15} C_d \left(h \frac{3}{2} \right) \sqrt{2g \tan \frac{\theta}{2}} \quad (3)$$

Equation for overflow weir of trapezoidal.

$$Q_{\text{theoretical}} = C_d \frac{8}{15} \sqrt{2g \tan \frac{\theta}{2}} h \frac{3}{2} \quad (4)$$

Equation for overflow weir of triangular.

Where

b is the width of the weir face (m)

h is the height of the water above the weir (m)

A is Gross- sectional area of weir (degrees)

III. RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION OF RESEARCH FINDINGS.

Weir have many types, model configurations through rectangle weir trapezoid shape weir and triangle weir. Analytical method for estimating the discharge coefficient by measuring discharge and controlling overflow open water tunnel channels. Weir overflow are also considered distance Fall point of water overflow weir and Compression of drop point and discharge coefficient C_d of the weir as measuring and controlling flow devices of water overflow weir.

1. discharge of water

1.1 Through Rectangle Weir discharge of water Q

The ratio during the height of the water above the weir and the height water overflow of weir h/p increased. Effect on discharge coefficient C_d decreases. Meanwhile, the ratio h/p increasing with the discharge coefficient C_d was increased, the influence discharge of water Q increased. As shown in Fig. 5.

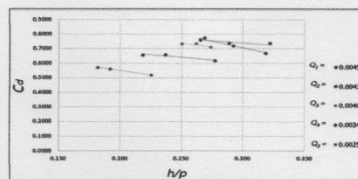


Fig. 5. The relationship between discharge coefficient C_d and h/p at discharge of water Q1-Q5. Through Rectangle Weir

1.2 Trapezoid Shape weir

The ratio during the height of the water above the weir and the height water overflow of weir h/p increased. Effect on discharge coefficient C_d increased. Meanwhile, the ratio h/p increasing with the discharge coefficient C_d increased, the influence discharge of water Q was increased, As shown in Fig. 6.

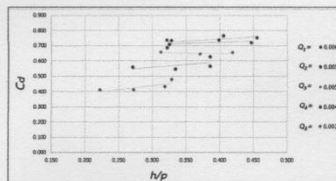


Fig. 6. The relationship between discharge coefficient C_d and h/p at flow Q1-Q5. Trapezoid Shape weir

1.3 Triangle Weir

The ratio during the height of the water above the weir and the height water overflow of weir h/p increased. Effect on discharge coefficient C_d decreases. Meanwhile, the ratio h/p increasing with the was discharge coefficient C_d . decreases, influence, discharge of water Q decreases. As shown in Fig. 7.

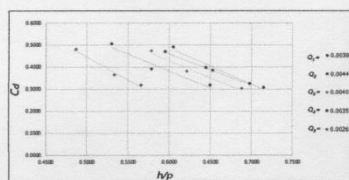


Fig. 7. The relationship between discharge coefficient C_4 and h/p at flow rate Q1-Q5. Triangle Weir.

TABLE II. THE SHOWS DATA OF THE DISCHARGE COEFFICIENT C_0 DISCHARGE OF WATER Q AND THE RATIO h/p .

t	Rectangle		Trapezoid		Triangle				
	h/p	Q m^3/s	h/p	Q m^3/s	h/p	Q m^3/s			
1	0.322	0.0048	0.7361	0.325	0.0044	0.707	0.7150	0.0044	0.3053
2	0.292	0.0043	0.7166	0.405	0.0047	0.764	0.6533	0.0026	0.3835
3	0.268	0.0044	0.7714	0.322	0.0044	0.737	0.6050	0.0047	0.4888
4	0.318	0.0043	0.6676	0.322	0.0042	0.684	0.6983	0.0044	0.3211
5	0.288	0.0044	0.7361	0.398	0.0046	0.736	0.6450	0.0044	0.3973
6	0.265	0.0043	0.7598	0.328	0.0044	0.735	0.5950	0.0043	0.4678
7	0.262	0.0041	0.7328	0.312	0.0041	0.657	0.6883	0.0039	0.2998
8	0.273	0.0041	0.7106	0.370	0.0039	0.645	0.6217	0.0039	0.3814
9	0.250	0.0039	0.7318	0.418	0.0040	0.653	0.5783	0.0040	0.4727
10	0.277	0.0036	0.6177	0.270	0.0034	0.558	0.6500	0.0036	0.3148
11	0.237	0.0034	0.6571	0.333	0.0033	0.547	0.5783	0.0033	0.3910
12	0.218	0.0032	0.6546	0.385	0.0038	0.625	0.5300	0.0035	0.5052
13	0.225	0.0026	0.5193	0.222	0.0025	0.412	0.5667	0.0026	0.3149
14	0.192	0.0025	0.5585	0.272	0.0024	0.409	0.5333	0.0025	0.3651
15	0.182	0.0024	0.5714	0.328	0.0028	0.477	0.4867	0.0026	0.4782

2. distance Fall point of water overflow weir

When the lap area height of the water above the weir with the decrease width of the h/p , discharge of water Q increased and decreases (the discharge of water 100% - 25%), Effect on distance Fall point of water overflow weir x increased and decrease by model configurations through rectangle weir, having the maximum $x=0.188$ m and the smallest $x=0.119$ m, trapezoidal weir The maximum $x=0.219$ m and the smallest $x=0.064$ m, and the triangular weir with the maximum $x=0.266$ m and the smallest $x=0.210$ m, can be seen at discharge of water Q increased. As the cutting area decreases, the x value increases. The maximum all of weir. This is triangular weir at $x=0.266$ m.

3. Compression of drop point

Compression of drop point for through rectangle weir. The difference in width of The width of overflow weir ($b_1 = 0.17, 0.19$ and 0.21 m) was in the range of $96.24 - 144.33$ degrees, respecting of trapezoid shape weir At different angles ($A = 5, 10, 15,$ and 20 degrees), the values were in the range of $97.79-117.94$ degrees. The respecting of triangle weir width of the width of overflow weir at high with different values ($W_H = 0.05, 0.075$ and 0.105 m) were in the range of $96.07 - 124.27$ degrees, consequently, Compression degrees of water fall were higher when the discharge of water Q increased. But only slightly increase.

4. discharge coefficient C_4 of the weir

The data collected from the experiments were analyzed for the discharge of water Q in two methods. Computational analysis of the experimental weir (measuring the water in the tank Set the height of the water up to 0.1 m, then make a timer) and analyze the theory. Both methods were used to estimate the discharge coefficients with three weir. Discover the discharge coefficients through by the rectangular weir. this have Average 0.7714 discharge coefficient through trapezoid shape weir. this have Average 0.7640 and the discharge coefficient of through the triangular weir as shown in Table 2, the discharge coefficients of the three weir types show that the calculated discharge of water Q differs from the measurement.

The discharge of water Q equation was analyzed. Is the equation for the sharp-crested weir. In this research, the weir is thick, the value of which has been Erroneously. At present, there is no equation for calculating the discharge of water Q with equation thick-crested weirs. The next step is to develop the equation.

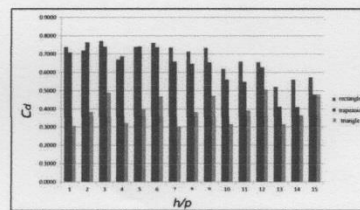
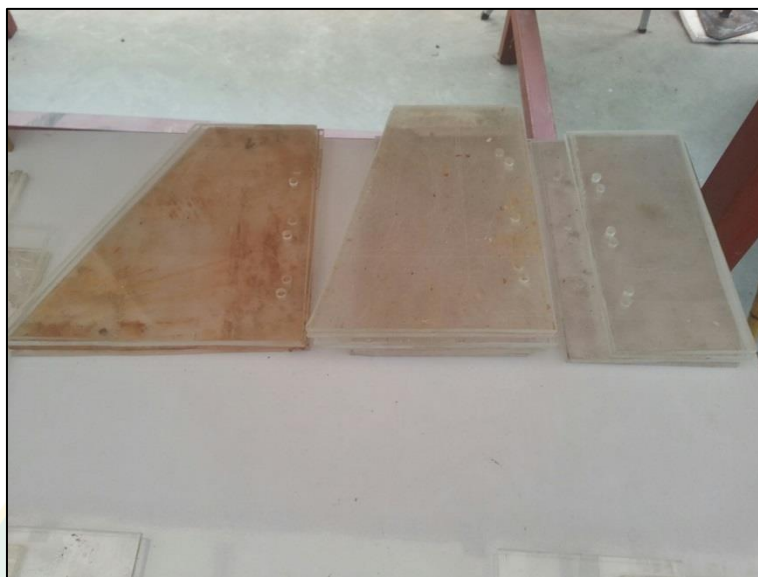


Fig. 8. The relationship between discharge coefficient C_4 and h/p at through rectangle weir trapezoid shape weir and triangle weir

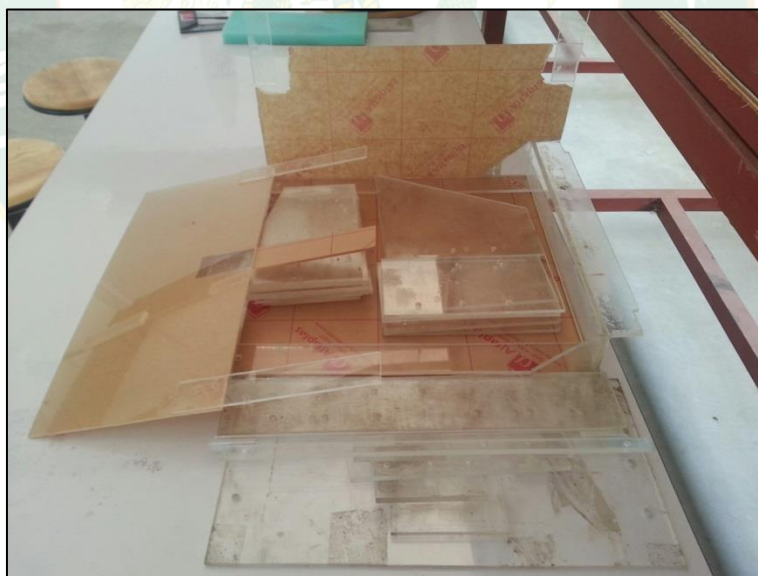


ภาคผนวก จ
ภาพกิจกรรมการดำเนินงานและการทดลอง

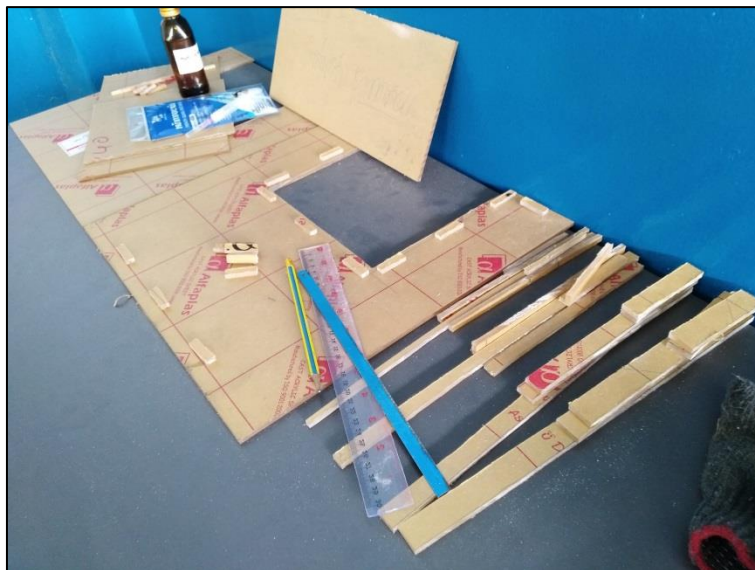
ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมอุปกรณ์ในการสร้างชุดการทดสอบ



ภาพภาคผนวกที่ 6 สร้างขึ้นส่วนประกอบข้างบนของฝาย ทั้งสามรูปแบบ สีเหลี่ยมผืนผ้า สีเหลี่ยมคางหมู และสาเหลี่ยม

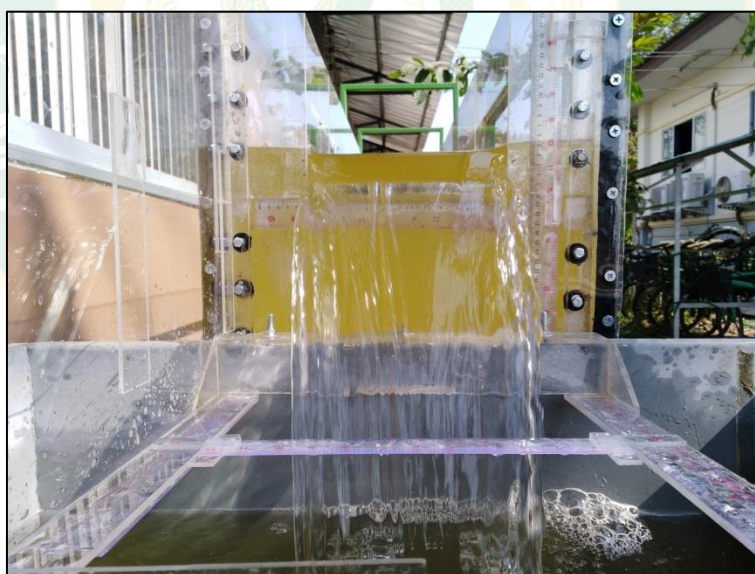


ภาพภาคผนวกที่ 7 ชุดประกอบทุกส่วนของฝาย

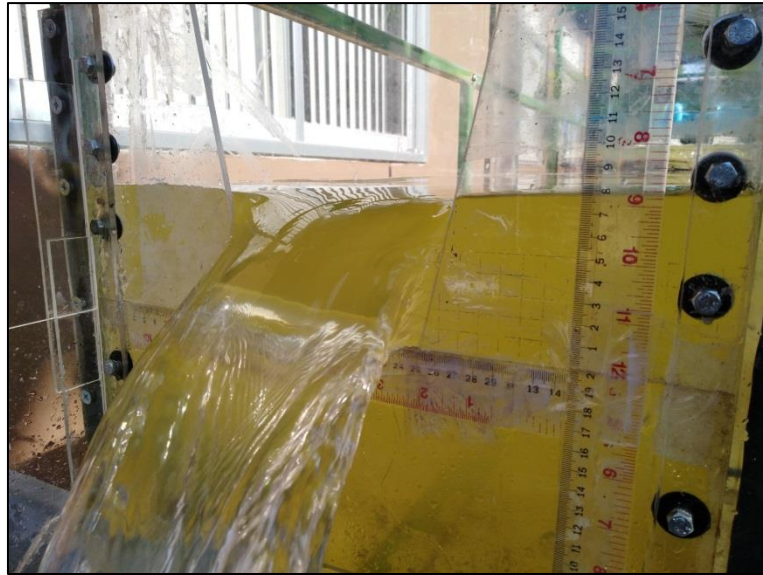


ภาพภาคผนวกที่ 8 ชุดชิ้นส่วนการเพิ่มความหนาของสันฝาย

ขั้นตอนที่ 2 ประกอบชุดการทดสอบเข้ากับอุโมงค์น้ำแบบเปิด



ภาพภาคผนวกที่ 9 การทดสอบฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า



ภาพภาคผนวกที่ 10 การทดสอบฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมคางหมู



ภาพภาคผนวกที่ 11 การทดสอบฝายรูปแบบสามเหลี่ยม



ภาพภาคผนวกที่ 12 การทดสอบฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ความหนา 25 mm

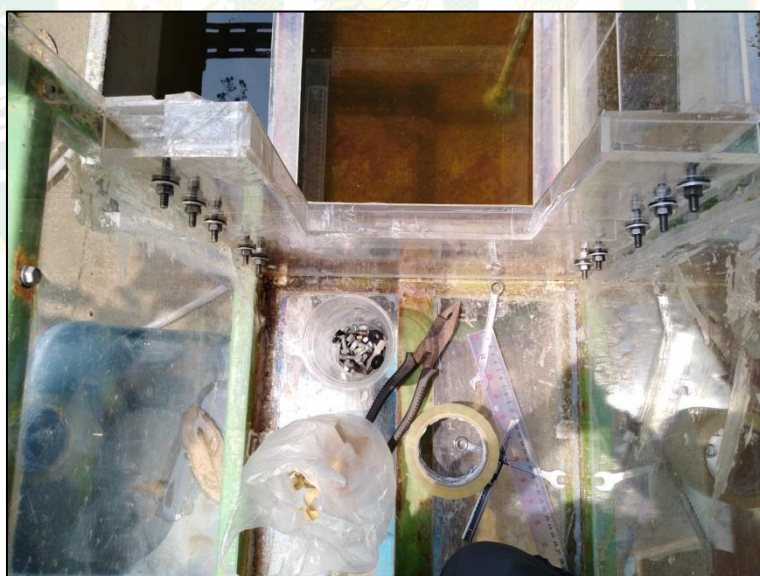


ภาพภาคผนวกที่ 13 การทดสอบฝายรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ความหนา 3 mm

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดสอบและเก็บข้อมูล



ภาพภาคผนวกที่ 14 การประกอบและเปลี่ยนชุดในการทดสอบของฝายทั้งสามรูปแบบ



ภาพภาคผนวกที่ 15 การประกอบและเปลี่ยนชุดในการทดสอบของฝาย ที่ความหนา



ภาพภาคผนวกที่ 16 ปรับการปล่อยน้ำเข้าสู่รางน้ำ



ภาพภาคผนวกที่ 17 วัดขนาดของคุณลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝาย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายณัฐรุต ติง๊ะ
เกิดเมื่อ	20 ตุลาคม 2534
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อ.เมือง จ.ยะลา พ.ศ. 2557 - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนประทีปวิทยา อ.เมือง จ.ยะลา พ.ศ. 2552 - สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนประทีปวิทยา อ.เมือง จ.ยะลา พ.ศ. 2549 - สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านตาโล๊ะ อ.เมือง จ.ยะลา พ.ศ. 2546

